

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА



Я. Б. ФОРКУН, О. О. ШКУРПЕЛА

СОНЯЧНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів усіх форм навчання
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
освітньої програми «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2020

Форкун Я. Б. Сонячна теплоенергетика : конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньої програми – «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії») / Я. Б. Форкун, О. О. Шкурпела ; Харків нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 88 с.

Автори :

канд. техн. наук, доц. Я. Б. Форкун,
О. О. Шкурпела

Рецензент

Д. В. Тугай, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри альтернативної електроенергетики та електротехніки Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою альтернативної електроенергетики та електротехніки, протокол № 13 від 04 червня 2020 р.

Конспект лекцій складено з метою допомогти студентам спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньої програми «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії» під час підготовки до практичних занять, лабораторних робіт, заліку та виконання студентами заочної форми навчання контрольної роботи.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 СОНЯЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПЕРЕТВОРЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ТЕПЛОВУ. ТЕПЛОВІ СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ	6
1.1 Сонячне випромінювання.....	6
1.1.1 Потенційні можливості сонячної енергії	6
1.1.2 Складові випромінювання. Вплив земної атмосфери.....	9
1.1.3 Оцінювання сонячної енергії.....	14
1.2 Теплові сонячні колектори	19
1.2.1 Класифікація та принцип роботи сонячних колекторів...	19
1.2.2 Сонячні колектори плоского типу.....	22
1.2.3 Вакуумні трубчасті сонячні колектори.....	24
1.2.4 Фокусуючі сонячні колектори.....	30
2 ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ І ОПАЛЕННЯ.....	33
2.1 Конструкція, наладка, введення до експлуатації та обслуговування геліоколекторних установок.....	33
2.1.1 Конструкція геліоколекторних установок.....	33
2.1.2 Наладка та введення до експлуатації геліоколекторних установок.....	40
2.1.3 Обслуговування та поточний ремонт геліоколекторних установок.....	45
2.2 Основи проектування систем сонячного теплопостачання.....	48
2.2.1 Розрахунок сонячної радіації, що падає на колектор.....	48
2.2.2 Тепловий розрахунок системи сонячного теплопостачання..	54
2.2.3 Розрахунок системи гарячого водопостачання за рахунок геліоколекторних установок.....	60
2.2.4 Розрахунок системи підтримання опалення за рахунок геліоколекторних установок	67
3 СОНЯЧНІ ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	70
3.1 Принцип роботи сонячних теплових електростанцій Класифікація сонячних теплових електростанцій.....	70
3.2 Особливості експлуатації, монтажу та техніки безпеки.....	76
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	86
ДОДАТКИ.....	87

ВСТУП

Використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) актуальне для всіх країн світу. Для розвинених країн, що імпортують паливно-енергетичні ресурси, – це забезпечення енергетичної безпеки; для розвинених країн, що мають свої запаси палива, – поліпшення екологічної ситуації; для країн, що розвиваються, – спосіб поліпшити соціально-побутові умови мешкання населення. Ці джерела енергії розглядають як істотне доповнення до традиційних.

Нетрадиційна (альтернативна) енергетика – сукупність перспективних способів отримання, передачі та використання енергії, які поширені не так широко, як традиційні, проте представляють інтерес через вигідність їх використання при низьких ризиках заподіяння шкоди навколишньому середовищу.

Альтернативне джерело енергії є відновлюваним ресурсом. Відновлювані ресурси – природні ресурси, запаси яких або відновлюються швидше, ніж використовуються, або не залежать від того, використовуються вони чи ні (енергія отримується з практично невичерпних природних ресурсів і явищ). Цей термін був введений в обіг як протиставлення поняттю «невідновлювані ресурси», тобто ресурси, запаси яких можуть бути вичерпані вже найближчим часом при існуючих темпах використання. Традиційні джерела енергії функціонують на нафті, природному газі та вугіллі, тобто на невідновлюваних ресурсах, які при згорянні виділяють в атмосферу вуглекислий газ, що сприяє зростанню парникового ефекту і глобального потепління.

В сучасній світовій практиці до відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) відносять: гідро, сонячну, вітрову, геотермальну, гідравлічну енергії, енергію морських течій, хвиль, припливів, температурного градієнта морської води, різниці температур між повітряною масою і океаном, тепла Землі, біомасу тваринного, рослинного і побутового походження. Використання відновлюваних видів енергії придбало відчутні масштаби і стійку тенденцію до росту.

Серед відновлюваних джерел енергії сонячна радіація за розмірами ресурсів і поширеності найбільш значуща, тому розвиток геліоенергетики є найбільш перспективним.

Геліоенергетика (сонячна енергетика) – галузь альтернативної енергетики, заснована на безпосередньому використанні сонячного випромінювання для отримання електричної або теплової енергії в будь-якому зручному для їх застосування вигляді. За характером використовуваного обладнання і принципами отримання енергії геліоенергетику можна розділити на два основних види: сонячну фотоенергетику та сонячну теплоенергетику. Останній вид геліоенергетики пов'язаний з перетворенням сонячної енергії в теплову з подальшим використанням в системах гарячого водопостачання та опалювання приміщень, а також з непрямым отриманням електроенергії шляхом концентрації радіації за

допомогою дзеркал для перетворення води в пару і подальшого використання пари для генерування електрики звичайними способами.

Метою викладання навчальної дисципліни «Сонячна теплоенергетика» є формування у студентів належного рівня знань про аспекти сучасної сонячної теплоенергетики для подальшого застосування цих знань при виконанні виробничих завдань, безпосередньо пов'язаних з їхнім фахом.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

- *знати* фізичні основи та особливості перетворення енергії сонячного випромінювання в теплову енергію з використанням сонячних колекторів;
- *знати* принцип дії, основні типи конструкцій перетворювачів сонячної енергії, їх характеристики; методики вибору обладнання сонячних теплоенергетичних установок побутового і промислового призначення;
- *знати* методи, що використовують для розрахунку енергетичних характеристик при проектуванні геліоустановок; методи дослідження основних параметрів геліоустановок;
- *вміти* обирати обладнання сонячних теплоенергетичних установок різного призначення; оцінювати потенціал енергозбереження на об'єкті після застосування сонячних теплоенергетичних установок; проводити розрахунки сонячних теплоенергетичних установок;
- *мати певні компетентності*, а саме: здатність використовувати базові знання з фізики, математики та теплотехніки для вирішення практичних задач в галузі сонячної теплоенергетики, здатність аналізувати науково-технічну інформацію, вивчати існуючий досвід з тематики дослідження, працювати над проектами електроенергетичних і електротехнічних систем і їх компонентів, розраховувати режими роботи сонячних теплоенергетичних установок різного призначення, визначати склад обладнання та його параметри.

Дисципліна містить три змістових модулі:

ЗМ 1. Сонячне випромінювання. Перетворення сонячної енергії в теплову. Теплові сонячні колектори.

ЗМ 2. Застосування сонячної енергії в системах гарячого водопостачання і опалення.

ЗМ 3. Сонячні теплові електростанції.

Цей конспект лекцій призначено для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, освітньої програми – «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії». Назви розділів конспекту лекцій співпадають з назвами змістових модулів, назви підрозділів – з назвами тем в робочій програмі дисципліни.

РОЗДІЛ 1 СОНЯЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПЕРЕТВОРЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ТЕПЛОВУ. ТЕПЛОВІ СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ

1.1 Сонячне випромінювання

1.1.1 Потенційні можливості сонячної енергії

Потенційні можливості енергетики, заснованої на використанні сонячного випромінювання, надзвичайно великі: використання всього лише 0,0125 % всієї кількості енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоденні потреби світової енергетики, а використання 0,5 % – повністю покрити потреби на перспективу [1]. Однак існують і перешкоди – низька інтенсивність падаючих променів та їх нерівномірність, а також значна вартість перетворюючих пристроїв.

На поверхню земної кулі падає сонячне випромінювання, енергія якого становить близько $81000 \cdot 10^6$ МВт, з яких $27000 \cdot 10^6$ МВт припадає на континенти. Близько 80 % цієї енергії надходить у період з квітня до вересня. З іншого боку, всесвітнє використання всіх видів енергії становить близько $10 \cdot 10^6$ МВт.

За годину наша планета одержує від сонця майже стільки енергії, скільки людство використовує впродовж року [2]. Виникає питання, чому ж при такому потужному потенціалі дармової сонячної енергії, її так важко перетворити на енергію, доступну для використання, та чому ж отримана від сонця енергія є такою дорогою. Причинами цього є:

- мала щільність сонячної енергії;
- мала інтенсивність падаючих променів та їх нерівномірність;
- значна вартість перетворюючих пристроїв.

Для порівняння: при спалюванні кубу вугілля з ребром 10 см і вагою близько 1 кг отримуємо енергію потужністю близько 10 кВт·год. Для отримання тієї ж самої кількості енергії випромінювання сонця необхідно використовувати квадрат з ребром 10 см впродовж року.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для впровадження геліосистем як теплоенергетичного, так і фотоелектроенергетичного обладнання практично на всій території (рис. 1.1, [2]). Сонячне випромінювання в Україні складає 3500–5200 МДж/м² за рік. Сезонний період для активного використання сонячної енергії у північних регіонах продовжується з квітня по вересень, а у південних – з березня по жовтень, що становить 1900–2400 годин в рік. Загальне середньорічне сонячне випромінювання варіюється від 1070 кВт·год/км² у місяць в північних районах України до 1400 кВт·год/км² на півдні країни. За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання (радіації) на території України необхідно виділити чотири зони, які показані нижче.

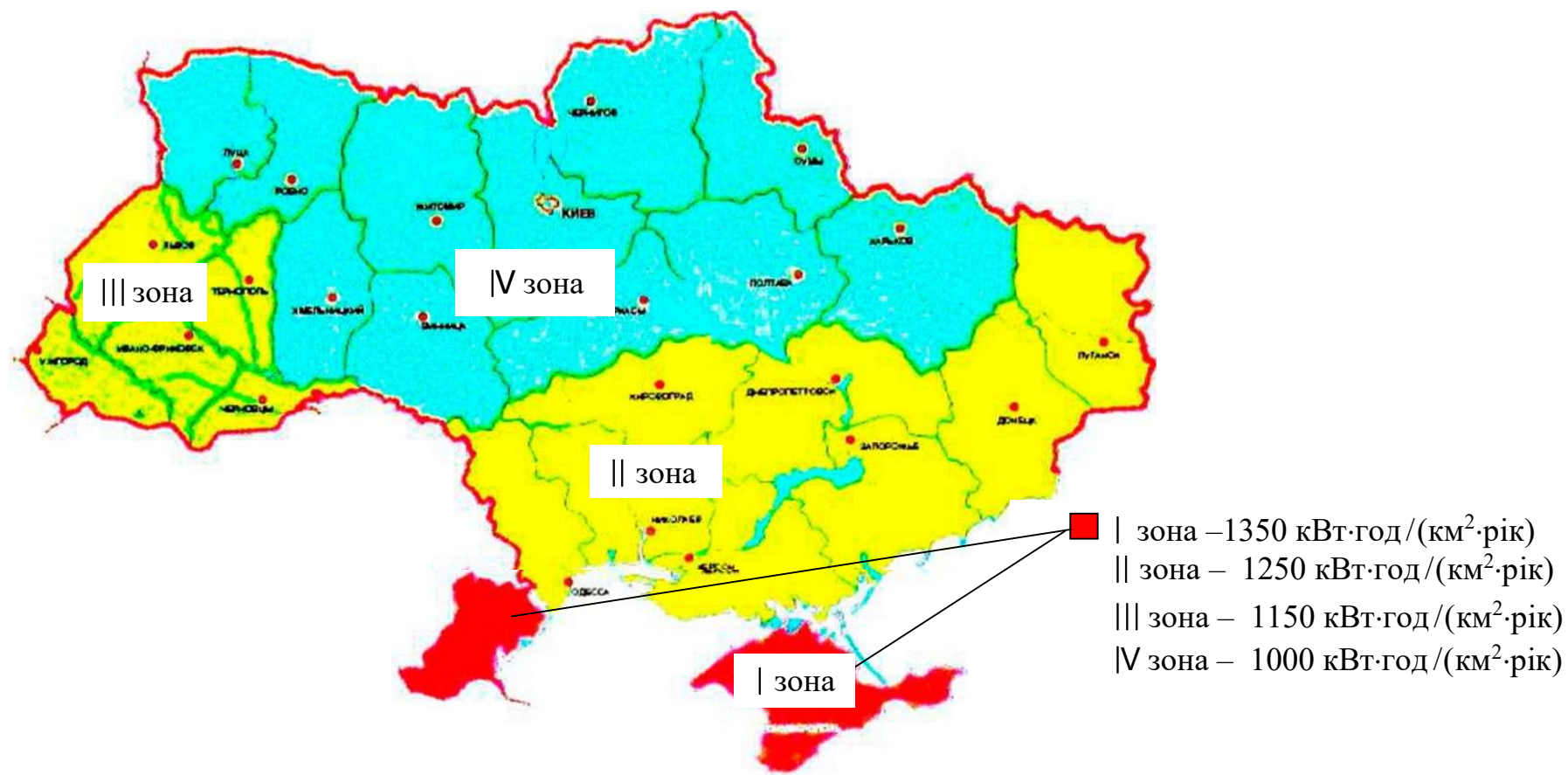


Рисунок 1.1 – Потенціал сонячної енергії України

У першій та другій зонах знаходяться усі південні області України: більше половини території нашої країни знаходиться в четвертій зоні, яка найменш придатна для використання сонячної енергії. Найбільша величина надходження сонячного проміння в першій зоні – $1350 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{км}^2$ в рік, а найменша – в четвертій $1000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/(\text{км}^2\cdot\text{рік})$. Для другої та третьої зон ці величини складають, відповідно $1250 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{км}^2$ та $1150 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{км}^2$ за рік [2]. У цілому територія України відноситься до зон з середньою інтенсивністю сонячної радіації.

У реальних умовах величина густини прямої та дифузійної, сонячної радіації залежить від широти місцевості, прозорості атмосфери, характеристик земної поверхні, а також від часу доби і пори року. З цієї причини величина річного потрапляння сонячної радіації на 1 м^2 з поверхні землі суттєво варіюється для різних регіонів України та очевидним є збільшення густини сонячної радіації та кількості сонячних днів у напрямку з Півночі на Південь із відповідним збільшенням річного потрапляння сонячної радіації на 1 м^2 поверхні землі. На рисунку 1.2 [2], зображеному нижче, показані величини енергії сонячної радіації, що доходять до Землі протягом року на 1 м^2 горизонтальної поверхні в регіонах, представлених шістьма українськими містами, при чому за 6 місяців теплого періоду року на поверхню Землі потрапляє велика доля річної кількості сонячної енергії. Кількість річної енергії сонячної радіації в великих містах України: Сімферополь – $4.99 \text{ ГДж}/\text{м}^2$. Одеса – $4,88 \text{ ГДж}/\text{м}^2$, Донецьк – $4.44 \text{ ГДж}/\text{м}^2$, Київ – $4.12 \text{ ГДж}/\text{м}^2$, Суми – $3,89 \text{ ГДж}/\text{м}^2$, Львів – $3,85 \text{ ГДж}/\text{м}^2$ [2].

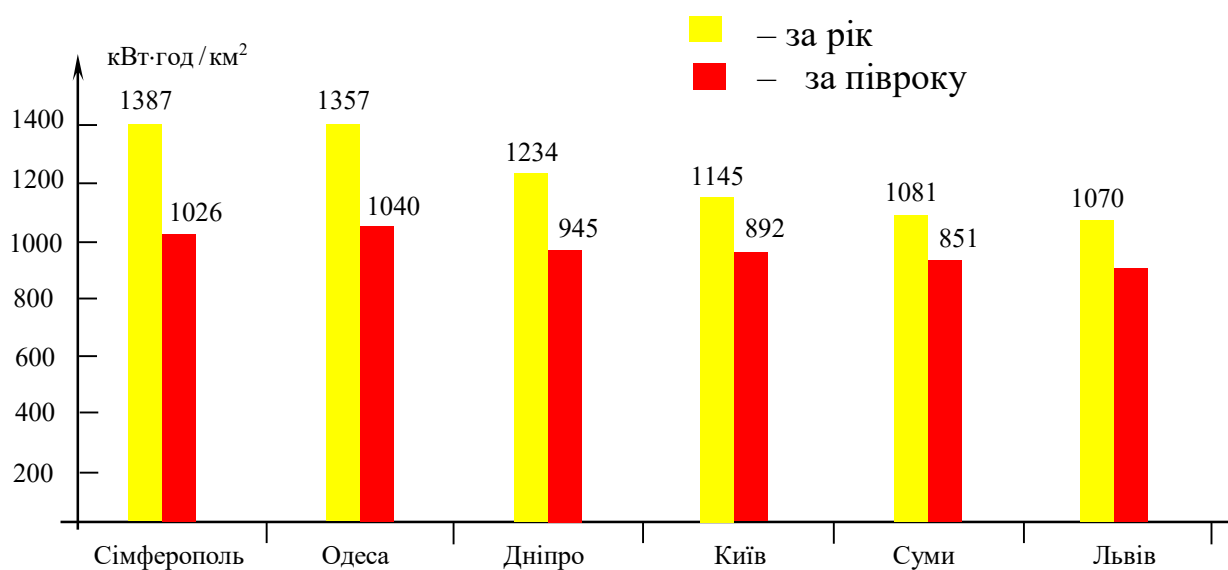


Рисунок 1.2 – Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню у різних містах України

Річний технічно-досяжний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні є еквівалентним 6 млн т. умовного палива. Його використання дозволяє заощадити біля 5 млрд. м³ природного газу. Збільшення споживання сонячної енергії в багатьох місцях розв'язало б проблеми гарячого водопостачання в теплу пору року.

1.1.2 Складові випромінювання. Вплив земної атмосфери

Джерелом енергії сонячного випромінювання є термоядерні реакції, що протікають на Сонці. Сонце – величезна газоподібна куля радіусом 695 500 км. Маса Сонця становить $1,98 \cdot 10^{30}$ кг, середня щільність сонячної матерії дорівнює 1,4 г/см³. Сонце випромінює в навколишній простір потік потужності, еквівалентний $4 \cdot 10^{23}$ кВт. Внаслідок реакцій ядерного синтезу в активному ядрі Сонця температури сягає 10^7 К, а спектральний розподіл потоку випромінювання з ядра нерівномірний. Це випромінювання поглинається зовнішніми неактивними шарами, в результаті чого спектральний розподіл сонячного випромінювання стає безперервним.

Земля знаходиться від Сонця на відстані приблизно 150 000 000 км (цю відстань називають астрономічної одиницею, а. о.). На найбільшому видаленні від Сонця (1,067 а. о.) Земля знаходиться 4 липня. Ця точка орбіти Землі називається афелієм. На найменшому віддаленні від Сонця (0,983 а. о.) Земля знаходиться 3 січня. Ця точка орбіти називається перигелієм. Площа поверхні Землі, що опромінюється Сонцем, становить близько $5 \cdot 10^8$ км². Потік сонячної радіації, що досягає Землі, за оцінками експертів складає до $1,2 \cdot 10^{14}$ кВт, що значно перевищує ресурси всіх інших відновлюваних джерел енергії.

Сонячний спектр можна розділити на три основні групи [1]:

- ультрафіолетове випромінювання (довжини хвиль до 0,4 мкм), 9 % інтенсивності;
- видиме випромінювання (довжини хвиль від 0,4 мкм до 0,7 мкм), 45 % інтенсивності;
- інфрачервоне (теплове) випромінювання (довжини хвиль понад 0,7 мкм), 46 % інтенсивності; з довжинами хвиль в діапазоні від 10 до 400 нм.

Промениста енергія, проходячи через атмосферу, розсіюється і поглинається. Досягаючи земної поверхні, сонячна радіація частково відбивається. Невідбита частина радіації поглинається, перетворюючись в тепло. Нагріта поверхня, в свою чергу, стає джерелом власного випромінювання, спрямованого до атмосфери. Атмосфера, що нагрівається за рахунок теплообміну з земною поверхнею, також є джерелом випромінювання, спрямованого до земної поверхні і в світовий простір [3].

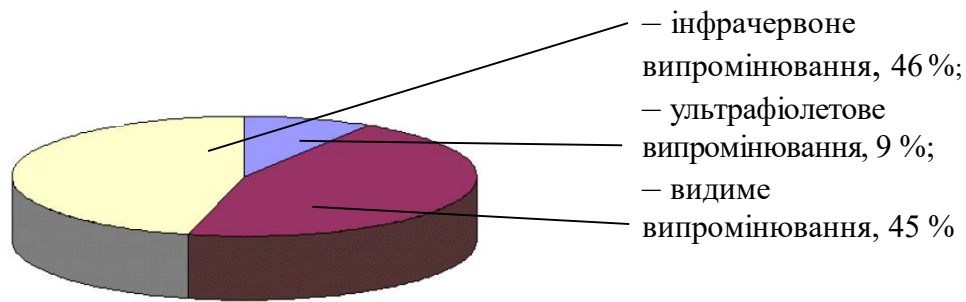


Рисунок 1.3 – Склад сонячного спектру

Баланс променистої енергії Землі представлений на рисунку 1.4 [3]. Близько 28 % енергії, що прийшла від Сонця, відбивається хмарами і аерозолями назад в космічний простір. Теплове (інфрачервоне) випромінювання Землі складає 114 % енергії, що прийшла від Сонця, з них 42 % повертаються атмосферою, а решта йде до космосу. По поверхні планети енергія перерозподіляється морськими течіями і вітрами [4].

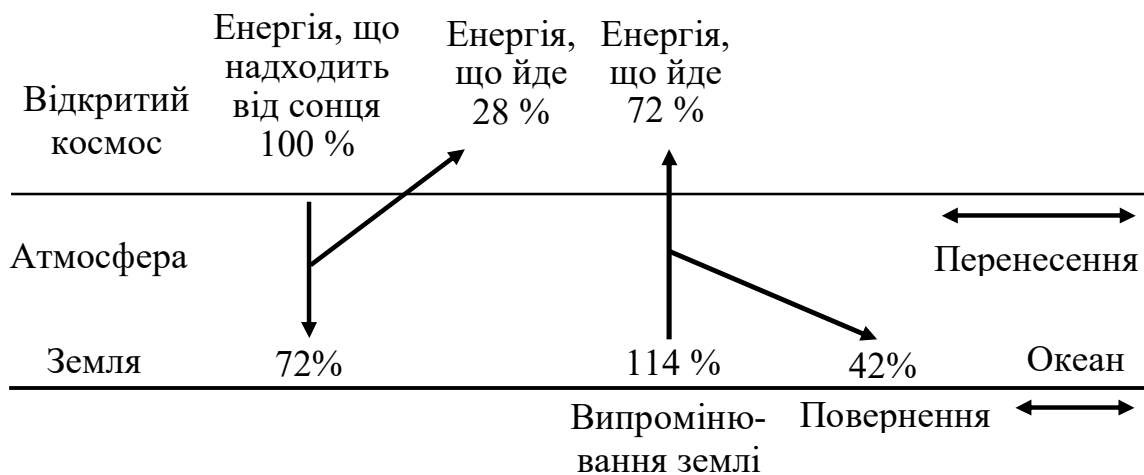


Рисунок 1.4 – Баланс променистої енергії Землі

Промениста енергія Сонця використовується біосферою з часів появи життя на планеті. Локальні значення променевої енергії Сонця, яка приходить до поверхні літосфери або гідросфери, залежать від багатьох факторів:

- широти і довготи місцевості;
- географічних і кліматичних особливостей (хмарність, запиленість повітря, висоти над рівнем моря);
- пори року і доби;
- стану атмосфери;
- висоти Сонця над горизонтом;
- орієнтації до Сонця (освітленості), тобто від розміщення приймача сонячного випромінювання на Землі по відношенню до Сонця.

У середніх широтах вдень інтенсивність сонячного випромінювання сягає 800 Вт/м^2 влітку і $200\text{--}350 \text{ Вт/м}^2$ взимку, зменшуючись до нуля із заходом Сонця.

В цілому можна виділити як закономірні особливості сонячного випромінювання, так і істотну частку його випадкової складової. Сумарне сонячне випромінювання, що досягає поверхні Землі, зазвичай складається з трьох складових:

- пряме сонячне випромінювання у вигляді паралельних променів, що надходить від Сонця на приймаючий майданчик;
- дифузійне або розсіяне молекулами атмосферних газів і аерозолів сонячне випромінювання;
- відображена земною поверхнею частка сонячного випромінювання.

Необхідно пам'ятати, що протягом як коротких (хвилини, години), так і тривалих (добу, тижні) інтервалів часу в конкретній точці Землі може бути відсутня повністю, або частково, перша складова сонячного випромінювання. А в нічні години сонячне випромінювання відсутнє взагалі. Це означає, що сонячна енергетична установка на Землі має нульову гарантовану потужність при використанні тільки сонячного випромінювання без поєднання з іншими джерелами енергії. Крім того, в багатьох країнах сонячне випромінювання досягає свого максимуму в літній період, коли зазвичай відбувається закономірне зменшення споживання електроенергії. Відповідно максимум зимового споживання енергії настає в період мінімального приходу сонячного випромінювання.

Процеси, що супроводжують проходження сонячного випромінювання через атмосферу показані на рисунку 1.5 [3], тобто в процесі проходження короткохвильового сонячного випромінювання через атмосферу мають місце різні види взаємодії, а саме:

- *поглинання*, тобто перехід енергії випромінювання в тепло (збудження молекул) з подальшим випромінюванням світла більшої довжини хвилі;
- *розсіювання*, тобто зміна напрямку поширення світла в залежності від довжини хвилі;
- *відбиття*, яке не залежить від довжини хвилі.

Відбиття. В середньому близько 30 % інтенсивності космічного сонячного випромінювання відбивається назад в космічний простір. Більшу частину випромінювання відбивають хмари, меншу – сніг і лід на поверхні Землі. Щільність потоку короткохвильового сонячного випромінювання, що залишився, становить приблизно $(1 - \rho_0) \cdot 1,3 \text{ кВт/м}^2 \approx 1 \text{ кВт/м}^2$. Коефіцієнт відображення ρ_0 називається *альбедо*.

Парниковий ефект і довгохвильове випромінювання. Якщо радіус землі R , а інтенсивність космічного сонячного випромінювання (сонячна пос-

тійна) E_0 , то отримана від сонця енергія становить $\pi \cdot R^2 \cdot (1 - \rho_0) \cdot E_0$. Ця енергія дорівнює енергії, що випромінюється в космічний простір Землею з випромінювальною здатністю $\varepsilon = 1$ і середньою температурою T_e . В умовах термодинамічної рівноваги, так як геотермічні і припливно-відливних ефекти незначні:

$$\pi \cdot R^2 \cdot (1 - \rho_0) \cdot E_0 = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T_e^4. \quad (1.1)$$

З (1.1) витікає, що $T_e \approx 250 \text{ K} = -23^\circ \text{ C}$.

Спектральний розподіл довгохвильового випромінювання поверхні Землі, що спостерігається з космосу, приблизно відповідає спектральному розподілу абсолютно чорного тіла при температурі 250 К. Максимум розподілу при цій температурі відповідає $\lambda = 10 \text{ мкм}$, з розподілом сонячного випромінювання цей розподіл не перекривається. Досвід показує, що спектральні розподілення сонячного випромінювання (короткі хвилі) та теплового випромінювання Землі (довгі хвилі) можна досліджувати окремо один від іншого.

Розглянемо більш докладно *поглинання* в атмосфері. Спектральні розподілення короткохвильового сонячного випромінювання та довгохвильового атмосферного можна поділити на окремі ділянки:

- на рівні моря сонячне випромінювання практичне відсутнє внаслідок поглинання O_2 , O_3 , O та N_2 та їх іонами ($\lambda < 0,3 \text{ мкм}$);
- проходить мала доля випромінювання, достатня для засмаги ($0,3 < \lambda < 0,4 \text{ мкм}$);
- для діапазону $0,4 < \lambda < 0,7 \text{ мкм}$ чиста атмосфера практично повністю пропускає випромінювання та стає «вікном» для його приходу на Землю;
- на діапазон $0,7 < \lambda < 2,5 \text{ мкм}$ припадає майже половина інтенсивності космічного сонячного випромінювання (20 % сонячної енергії поглинається в атмосфері парами H_2O та CO_2);
- для інфрачервоного діапазону $\lambda > 3 \text{ мкм}$ атмосфера практично непрозора.

Висновок. При проходженні короткохвильової радіації Сонця (електромагнітне випромінювання в області довжин хвиль від 0,3 до 3 мкм) через атмосферу Землі, в верхніх шарах відбуваються хімічні реакції, іонізація, дисоціація молекул, тобто розпад складних хімічних сполук на складові компоненти і/або елементи; поглинання радіації, головним чином озоном, водяною парою і землею поверхнею, що призводить до нагрівання атмосфери.

Вимірювання складових сонячного випромінювання на Землі відбувається на актинометричних станціях. Актинометрія – розділ геофізики, в якому вивчаються перенесення і перетворення випромінювання в атмосфері, гідросфері і на поверхні Землі, тобто це – сукупність методів вимірів радіації Землі в метеорології.

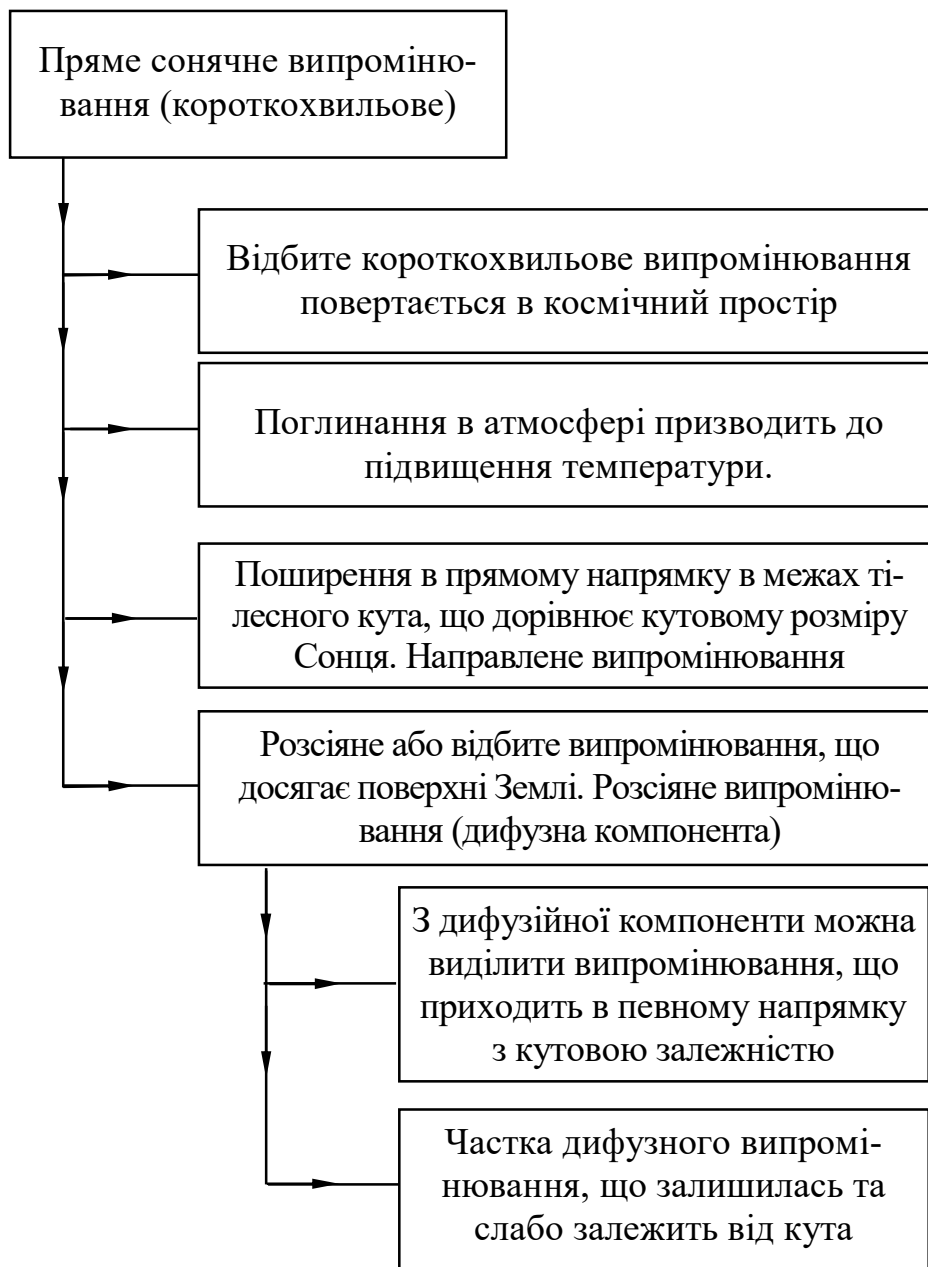


Рисунок 1.5 – Процеси, що супроводжують проходження сонячного випромінювання через атмосферу [3]

Основним завданням актинометрії є кількісне і якісне дослідження прямої, розсіяної і відбитої сонячної радіації, довгохвильовій радіації земної поверхні і атмосфери та радіаційного балансу атмосфери, розробка приладів і методів вимірювань, перетворень променевої енергії в атмосфері, гідросфері і на земній поверхні.

Як показує світовий досвід, просте перенесення наявних методів розрахунку сонячного випромінювання в одній країні на умови інших, з іншими кліматичними умовами, дає великі помилки. Додаткові складнощі вносить і обмежена кількість актинометричних станцій, вимірювання на яких можна використовувати в розрахунках режимів і параметрів сонячних енергетичних установок різного типу та виду.

1.1.3 Оцінювання сонячної енергії

Реакція термоядерного синтезу легких елементів в глибинах Сонця породжує колосальну енергію сонячного випромінювання (радіації). Кількісно це випромінювання характеризується інтенсивністю E_c [Вт/м²], тобто це потужність променистої енергії, що приходить за межами земної атмосфери в секунду на квадратний метр перпендикулярного до сонячних променів майданчика [4].

Загальну кількість сонячної радіації, що надходить в одиницю часу на одиничну, перпендикулярну сонячним променям площадку на зовнішньому кордоні атмосфери, при середній відстані Землі від Сонця, називають сонячною постійною E_0 . Значення сонячної постійної визначалося ретельними вимірами протягом тривалого часу, зараз воно прийнято рівним 1370 Вт/м². Це означає, що на кожен квадратний метр поверхні, перпендикулярної до сонячних променів і віддаленої від Сонця на 1 а. о., падає 1370 Вт сонячної енергії.

Сумарна потужність променевої енергії, що надходить до земної атмосфери, дорівнює приблизно 180 млн ГВт (сумарна потужність електростанцій України понад 55 ГВт). Енергію інтенсивності радіації за певний час вимірюють в (кВт·год)/м².

Промениста енергія, проходячи через атмосферу, розсіюється і поглинається. Досягаючи земної поверхні, сонячна радіація частково відбивається. Невідбита частина радіації поглинається, перетворюючись в тепло. Нагріта поверхня, в свою чергу, стає джерелом власного випромінювання, спрямованого до атмосфери. Атмосфера, нагріта за рахунок теплообміну з землею, також є джерелом випромінювання, спрямованого до земної поверхні і в світовий простір [5].

Радіаційний баланс є складовою частиною теплового балансу атмосфери і підстильної поверхні. Підстильна поверхня – компоненти земної поверхні, що здійснюють тепло- і вологообмін з атмосферою і роблять вплив на її стан. Різні типи підстильної поверхні по різному поглинають сонячну радіацію і віддають тепло атмосфері, випаровують вологу і впливають на силу вітру. На Землі радіаційний баланс коливається в широких межах: найбільші його значення – в тропічних океанах (до 1 кВт/м²), найменші – в глибинних районах Антарктиди (від’ємні круглий рік).

Алгебраїчна сума витратних складових радіації представляє радіаційний баланс, рівняння якого має вигляд

$$B = S' + D + b \cdot E_a - E_z - R = Q \cdot (1 - A_k) - E_{ef}, \quad (1.2)$$

де S' – пряма сонячна радіація на горизонтальну поверхню;

D – розсіяна сонячна радіація;

R – відбита короткохвильова радіація;

Q – сумарна сонячна радіація;

E_z – довгохвильове (теплове) випромінювання земної поверхні;

E_a – зустрічне випромінювання атмосфери, що спрямоване до земної поверхні;

E_{ef} – ефективне випромінювання підстильної поверхні;

A_k – альbedo підстильної поверхні (фізична величина, що описує здатність поверхні тіла відбивати та розсіювати випромінювання);

b – коефіцієнт поглинання підстильної поверхні.

Складові радіаційного балансу вимірюються в Вт/м². Радіаційний баланс залежить від висоти сонця, обумовленої часом доби, пори року і географічною широтою, а також від здатності поверхні відбивати випромінювання, прозорості атмосфери, хмарності та інших факторів. Вдень радіаційний баланс додатний (надлишок тепла на поверхні землі, який компенсується відтоком енергії у вигляді турбулентних потоків і теплопередачі), вночі – від’ємний (нестача тепла, що поповнюється потоком енергії з атмосфери і з глибин ґрунту або води). Зміна знаків радіаційного балансу відбувається приблизно через годину після сходу сонця і за годину до його заходу. Радіаційний баланс – один з кліматоутворюючих факторів разом з рельєфом місцевості та циркуляцією атмосфери.

Під прямою сонячною радіацією S' розуміють пучок паралельних променів, що виходять безпосередньо від сонця і зони близько сонця, радіусом 5° . Частка цієї радіації, яка припадає на горизонтальну поверхню, обчислюється за формулою [5]:

$$S = S' \cdot \sin h, \quad (1.3)$$

де h – висота сонця над горизонтом.

Розсіяна сонячна радіація надходить на поверхню землі від усіх точок небосхилу за винятком диска сонця і зони близько сонця радіусом 5° . Розсіяне випромінювання обумовлено молекулами атмосферних газів, водяними краплями або крижаними кристалами хмар, твердими частинками, зваженими в повітрі.

Найбільш повною енергетичною характеристикою сонячного випромінювання є сумарна сонячна радіація [5]:

$$Q = S' + D, \quad (1.4)$$

На геліоенергетичні ресурси території здійснюють безпосередній вплив географічні та кліматичні характеристики: тривалість світлового дня; середня місячна і річна тривалість сонячного сяйва; середні місячні та річні характеристики прозорості атмосфери і ряд інших.

Оцінка потенціалу сонячної енергетики, як вже було сказано, ґрунтується

на багаторічних даних актинометричних спостережень на великій кількості станцій, розподілених досить рівномірно по території.

Потенційні можливості приходу сонячної радіації визначаються географічною широтою місцевості. Кліматичні характеристики району, що побічно характеризуються тривалістю сонячного саява, вносять істотні корективи в можливість ефективного використання енергії сонця.

Надходження сонячної радіації до земної поверхні залежить від багатьох факторів [5]:

- від широти місцевості;
- від пори року і доби;
- від прозорості атмосфери;
- від хмарності;
- від характеру підстильної поверхні;
- від висоти місця над рівнем моря;
- від закритості горизонту.

Кількість радіації, що отримується земною поверхнею за добу, залежить, перш за все, від широти і пори року. На кожній широті пора року визначає тривалість денної частини доби (світлового дня) і, отже, тривалість надходження радіації. Зі збільшенням широти тривалість світлового дня взимку зменшується, а влітку збільшується.

Надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню залежить не тільки від тривалості дня, а й від висоти сонця. Висота сонця змінюється в залежності від широти місця, пори року і доби.

Залежність приходу сонячної радіації від широти, більш чітко простежується взимку: в напрямку до більш високих широт кількість сонячної радіації зменшується. Влітку зі збільшенням широти збільшується тривалість дня і прозорість атмосфери, що сприяє збільшенню прямої і сумарної радіації. Збільшення ж хмарності зменшує пряму і збільшує розсіяну радіацію. Потік розсіяної радіації, хоча частково і компенсує ослаблення потоку прямої сонячної радіації в атмосфері, але ця компенсація не є повною. Тому, потік сумарної радіації при наявності хмарності, якщо сонце не закрите хмарами, буде більше, ніж при безхмарному небі. Вплив зростання прозорості в реальних умовах може перекриватися впливом хмарності на надходження радіації. Зменшення прозорості атмосфери призводить до збільшення розсіяної радіації.

Крім прозорості і хмарності на розсіяну радіацію впливає характер підстильної поверхні. При збільшенні відбивної здатності підстильної поверхні значно зростає потік розсіяної радіації. При наявності снігового покриву збільшується відображення прямої сонячної радіації, вторинне розсіювання якої в ат-

мосфері призводить до збільшення розсіяної радіації.

Зі збільшенням висоти над рівнем моря потік прямої сонячної радіації зростає, що пояснюється зменшенням оптичної товщини атмосфери. Внаслідок цього, максимальні значення потоку сонячної радіації в гірських районах більше, ніж на рівнинній місцевості.

Величина потоку розсіяної радіації з підняттям над рівнем моря зменшується при ясному небі, тому що зменшується товща шарів атмосфери, що розсіюють. При наявності ж хмарності, потік розсіяної радіації в шарах нижче хмар з висотою збільшується. Прихід прямої і сумарної радіації зменшується в пунктах, розташованих на дні долин або улоговин, за рахунок закритості горизонту.

При проходженні через атмосферу сонячне випромінювання послаблюється в основному за рахунок поглинання інфрачервоного випромінювання парами води, ультрафіолетового випромінювання – озоном і розсіювання випромінювання молекулами газів, частинками пилу в повітрі і аерозолями.

Параметром, що відображає вплив атмосфери на інтенсивність і спектральний склад сонячного випромінювання, що доходить до земної поверхні, є атмосферна (повітряна) маса (АМ).

При нульовій повітряній масі $AM = 0$, інтенсивність випромінювання дорівнює $E_C = 1,35 \text{ кВт/м}^2$. Величина $AM = 1$ відповідає проходженню сонячного випромінювання через безхмарну атмосферу до рівня моря при розташуванні Сонця в zenіті. Повітряна маса для будь-якого рівня земної поверхні в будь-який момент дня визначається по формулі

$$AM = \frac{P}{P_0} \cdot \frac{1}{\sin \lambda}, \quad (1.4)$$

де P – атмосферний тиск, Па;

P_0 – нормальний атмосферний тиск ($1,013 \cdot 10^5$ Па);

λ – кут висоти Сонця над горизонтом.

Найхарактернішою в земних умовах є величина $AM = 1,5$ ($\lambda = 42^\circ$). Вона прийнята за стандартну, при інтегральній поверхневій щільності сонячного випромінювання $E_C = 0,84 \text{ кВт/м}^2$, що необхідно для забезпечення порівнянності результатів досліджень різних сонячних елементів [1].

Геометрія Землі та Сонця

Земля обертається за 24 години навколо своєї осі, що позначена на рисунку 1.6 точками північного і південного полюсів N і S та перпендикулярна екваторіальній площині. Точка C – центр Землі. Кожна точка P на поверхні харак-

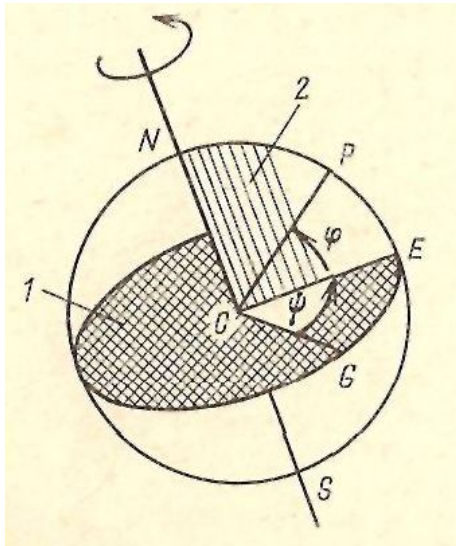


Рисунок 1.6 – Схема визначення широти φ та довготи ψ :

- 1 – екваторіальна площина;
- 2 – меридіональна площина

теризується широтою φ (додатна для точок, що лежать на північ від екватору) та довготою ψ (додатна для точок, що лежать на схід від Гринвіча). Площина, що побудована з півночі на південь через точку P – локальна меридіональна площина. Точки E та G на екваторі мають ті ж самі довготи, що і точка P та Гринвіч відповідно. Кожні 24 години Сонце попадає в меридіональну площину, це і є полудень за сонячним часом для усіх точок, що мають цю довготу. Сонячний час не співпадає з, так званим, декретним часом. Земля обертається навколо Сонця за рік. Напрямок її осі залишається фіксованим в просторі і складає з нормаллю до площини обертання $\delta_0 = 23,5^\circ$ (рис. 1.7). Кут між напрямком до Сонця та екваторіальною площиною називають схилянням δ і він є мірою сезонних змін. Іншими словами, схиляння є широта точки, для якої Сонце знаходиться в зеніті в полудень за сонячним часом.

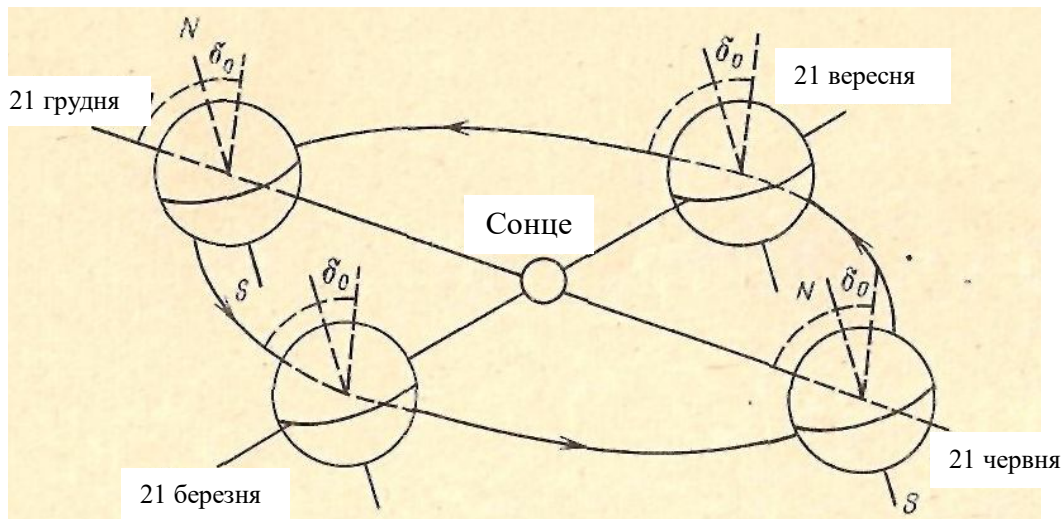


Рисунок 1.7 – Схема обертання Землі навколо Сонця (суцільна лінія на поверхні Землі – екватор) [3]

В північній півкулі δ плавно змінюється від $\delta_0 = 23,5^\circ$ (літнє сонцестояння) до $\delta_0 = -23,5^\circ$ (зимове сонцестояння). Аналітично отримано:

$$\delta = \delta_0 \cdot \sin \left[\frac{360^\circ \cdot (284 + n)}{365} \right], \quad (1.5)$$

де n – день року ($n = 1$ відповідає 1 січня).

1.2 Теплові сонячні колектори

1.2.1 Класифікація та принцип роботи сонячних колекторів

Сонячний колектор – конструкція або пристрій для перетворення енергії випромінювання Сонця у видимому та інфрачервоному спектрі у тепло. На відміну від сонячних батарей, які виробляють безпосередньо електрику, сонячний колектор здійснює нагрів матеріала-теплоносія. Колектори застосовують для підігріву води та підтримання опалення, існують різні їх типи, але всі вони засновані на простому принципі: темна поверхня «вбирає» сонячну енергію, потім це тепло передається теплоносію. Найпростіші колектори пасивної системи не вимагають насосів або іншого електрообладнання, бо гаряча рідина переміщується між колектором і баком за принципом конвекції (нагріта рідина завжди піднімається вгору), а завдяки застосуванню антифризу вони можуть використовуватися навіть в зимовий час.

Основний принцип роботи сонячного колектора полягає в наступному:

- сонце нагріває рідину в колекторі;
- нагріта рідина піднімається по колектору і трубі в бак-акумулятор;
- коли гаряча рідина надходить в теплообмінник, встановлений в бак з водою, тепло передається від теплообмінника воді;
- рідина в теплообміннику, охолоджуючись, переміщується донизу по спіралі і надходить з отвору в нижній частині бака назад в колектор;
- нагріта в баку вода акумулюється в верхній його частині і відбирається звідти через вихідний отвір;
- холодна вода з водопровідної мережі або резервуара надходить у нижню частину бака.

Поки на колектор світить сонце, рідина в трубах абсорбера нагрівається, переміщується в бак і таким чином постійно циркулює. Цей процес забезпечує нагрів води в баку всього за кілька годин при інтенсивному сонячному випромінюванні.

Таким чином, основними елементами сонячного колектора є:

- абсорбер;
- теплоносій;
- бак-акумулятор.

Абсорбер – це ключовий елемент сонячного колектора. У ньому відбувається процес перетворення сонячної енергії в теплову енергію і потім передача тепла теплоносія. Він складається з металевого листа, привареного до металевих труб. Кілька труб встановлюються вертикально і приварюються до двох труб більшого діаметру, розташованих горизонтально. Ці товсті труби для вхо-

ду і виходу рідини повинні бути розташовані паралельно один одному. А вхідний отвір для рідини (нижня частина абсорбера) і вихідний отвір (верхня частина абсорбера) повинні розташовуватися діагонально з різних сторін панелі.

Для виготовлення абсорбера застосовуються різні матеріали, такі, як мідь, алюміній, скло. Так само абсорбер може мати різну форму. Незмінним є те, що абсорбер знаходиться на освітленій сонячним випромінюванням частини сонячного колектора. Для максимального поглинання сонячного випромінювання на абсорбер наносять спеціальне поглинальне селективне покриття. Це покриття забезпечує максимально можливе поглинання сонячної енергії, що потрапляє на поглинач, та перешкоджає зворотному випромінюванню. Існують різні способи нанесення поглинального покриття на поверхню абсорбера:

- гальванічним способом (покриття типу «чорний хром»);
- шляхом напилення («сині шари»).

Поглиналина здатність позначається символом альфа (α), випромінююча здатність – символом епсилон (ϵ). Поглиналина здатність α зазвичай у різних покриттів приблизно однакова – рисунок 1.8 [6]. Відмінністю може бути менше випромінювання ϵ , а також стійкість до атмосферних явищ і старіння. Це впливає на термін служби колектора і втрати теплофізичних властивостей.

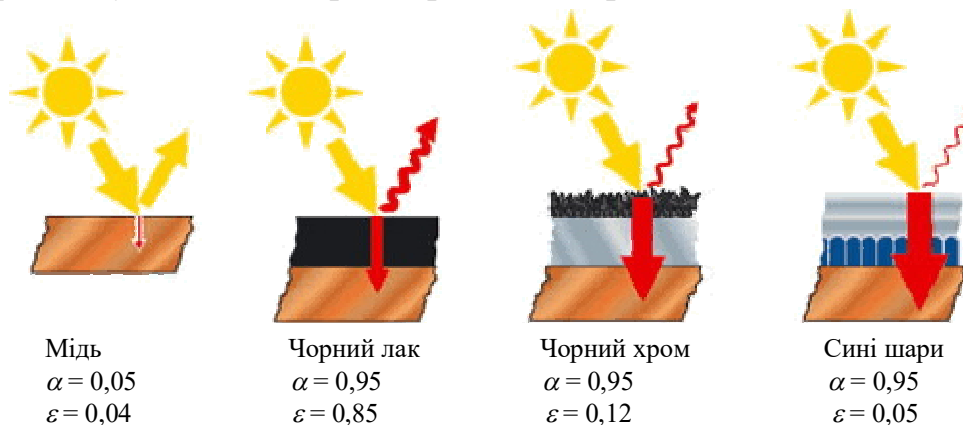


Рисунок 1.8 – Поглиналина і випромінююча здатність для різних типів покриттів абсорбера в процентах

У сонячних колекторах використовують абсорбери трьох типів:

- пір'яний;
- ціліснолистовий;
- циліндричний.

Теплоносії (вода, повітря, масло або антифриз), як вже було зазначено, нагрівається, циркулюючи через колектор, а потім передає теплову енергію в бак-акумулятор, що накопичує гарячу воду для споживача. Як відомо, у найпростішому варіанті циркуляція води відбувається природно через різницю температур в колекторі. Таке рішення дозволяє підвищити ефективність сонячної

установки, оскільки ККД сонячного колектора знижується з ростом температури теплоносія.

Сонячні колектори класифікуються за різними ознаками:

- за призначенням;
- за технічними рішеннями;
- за видом теплоносія;
- за терміном експлуатації;
- за температурою теплоносія
- за конструкцією, яка безпосередньо пов'язана з температурою теплоносія.

За призначенням вони поділяються на колектори для гарячого водопостачання та для опалення, за використаними технічними рішеннями – на одно-, дво- і багатоконтурні, за видом теплоносія розрізняють рідинні та повітряні колектори, за терміном експлуатації – сезонні та цілорічні.

За температурою теплоносія колектори поділяють на:

- низькотемпературні (температура теплоносія в них не перевищує 100 °С);
- середньотемпературні (температура теплоносія в них від 30 до 165 °С);
- високотемпературні (температура теплоносія від 20 до 300 °С).

Головною принципом класифікації все ж таки є класифікація їх за конструкцією, а саме:

- плоскі колектори, які є низькотемпературними;
- вакуумні колектори (середньо та високотемпературні залежно від їх особливостей);
- фокусуючі сонячні колектори.

1.2.2 Сонячні колектори плоского типу

Плоский сонячний колектор – найбільш поширений тип сонячних колекторів, який застосовують в геліосистемах, для підігріву води і для підтримки опалення. Конструкція плоских сонячних колекторів використовує пряме або розсіяне сонячне випромінювання і не передбачає його концентрації. Перевагою плоского сонячного колектора є відносна простота конструкції, що дозволяє здешевити систему при досить високих показниках продуктивності і надійності. Недоліком можна назвати високі теплові втрати, які знижують показники виробництва теплової енергії при низькій температурі повітря.

Конструктивно він виконаний у вигляді прямокутної пластини (рис. 1.9). У теплоізованому корпусі колектора знаходиться основний елемент – абсорбер (поглинаюча пластина). До абсорберу припаяні трубки. Матеріал абсорбера і трубок може бути різним, як правило, застосовують метали з гарними теп-

лопровідними характеристиками, такі як мідь і алюміній. У плоских сонячних колекторах зазвичай використовують абсорбери двох типів – пір'яний і цілісно листовий.

У пір'яного абсорбера до окремих пластин прикріплена або приварена трубка. Трубки в таких абсорберах з'єднуються між собою у вигляді «арфи». Такий тип з'єднання ще називають колекторним. У цілісно листового абсорбера, система розподілу теплоносія буває у вигляді «меандру» або ж трубки з'єднані колекторним типом (рис. 1.10).

Зверху поглинаюча пластина закрита прозорою ізоляцією. Для цього застосовують загартоване скло з низьким вмістом оксидів заліза. Це сприяє більшому проникненню сонячної енергії на пластину.

Більшість плоских колекторів складається із п'яти основних елементів, до яких відносять:

- корпус, що містить усі елементи і захищає їх від атмосферних впливів;
- прозоре покриття з одного або більше шарів скла або пластмасової плівки;
- трубки або канали, виготовлені як одне ціле разом із поглинаючою пластиною або приєднані до неї, по яких проходить вода, повітря або інший теплоносій;
- поглинаюча пластина, зазвичай металева, з чорною поверхнею, хоча можна використовувати безліч інших матеріалів, особливо для повітрянагрівачів;
- ізоляція, яку необхідно передбачати на тіньовій і бічній сторонах колектора, щоб звести до мінімуму теплові втрати.

У ряді випадків ізоляцію можна виключати із пристроїв, призначених для невеликого підвищення температури, як наприклад при нагріванні води в плавальних басейнах.

Під впливом сонячного випромінювання на поверхні абсорбера сонячного колектора відбувається поглинання сонячної енергії, в результаті пластина абсорбера розігрівається, а теплоносій, що перекачується через трубки, відбирає отримане тепло через місця з'єднання пластини абсорбера з трубками. Селективне покриття, яке наноситься на пластину абсорбера, дозволяє поглинати максимально можливу кількість теплової сонячної енергії, при цьому назад ця енергія майже не випромінюється. Прозора ізоляція (гартоване скло з низьким вмістом заліза) і теплоізоляційний шар знижують втрати теплової енергії.

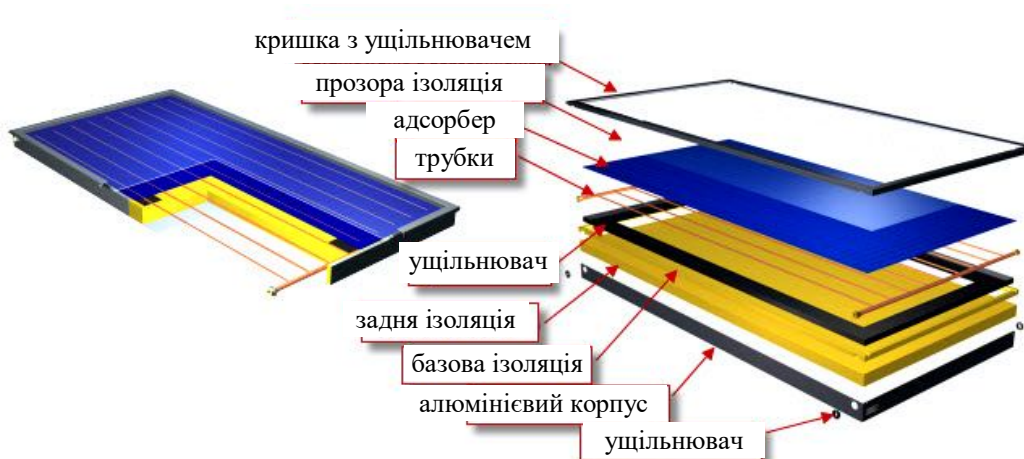


Рисунок 1.9 – Конструкція плоского сонячного колектора [7]

Залежно від необхідної потреби в гарячій воді та опаленні розраховується оптимальна площа геліосистеми. Плоскі сонячні колектори об'єднуються в групи і працюють в одній системі. Кількість нагрітої води і її температура за добу залежать від різних факторів таких як: висота сонця над горизонтом, ясність дня, температура повітря, температура холодної води в прямому трубопроводі, фактичної витрати гарячої води, конфігурація системи і та ін.

Сонячний вакуумний плоский колектор (рис. 1.11) має значно менші теплові втрати в навколишнє середовище, оскільки вакуум є ідеальним теплоізолятором. Однак досить складно зробити вакуум (розріджене повітря з тиском меншим атмосферного).

Як правило, в промисловості значення тиску не повинно перевищувати 300 мбар та утримуватись в сонячному колекторі впродовж експлуатації. У плоских колекторах проблематично домогтись герметичності, для утримання вакууму через великий обсяг і конструкції корпусу. Окрім того, існує проблема прогину скла. Для вирішення такої проблеми використовують додаткові опорні стійки, які призводять до додаткового затінення.

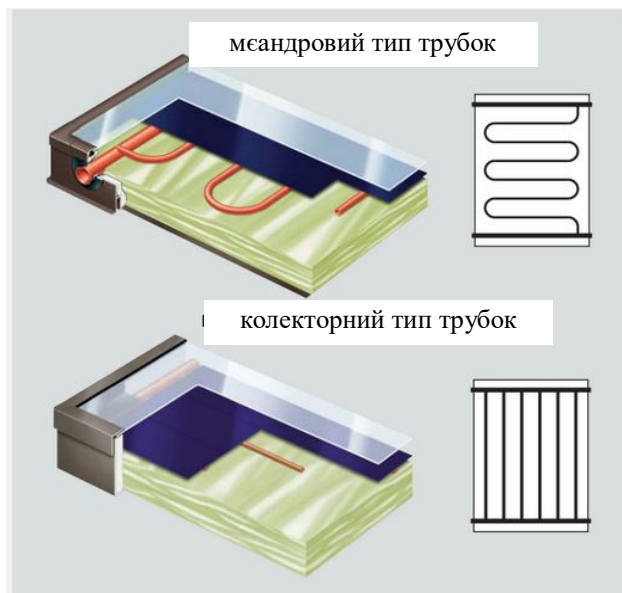


Рисунок 1.10 – Типи абсорбера



Рисунок 1.11 – Плоский вакуумний сонячний колектор

1.2.3 Вакуумні трубчасті сонячні колектори

Трубчаста форма у вигляді колби найбільш оптимальна для створення і утримання вакууму. Саме тому найбільшого поширення в побутовому секторі отримали вакуумні трубчасті колектори. Існує кілька типів трубчастих колекторів, що є різними за своїми конструктивними особливостями, внаслідок чого у них можуть бути різні експлуатаційні характеристики, цільове використання та ефективності.

Сонячні вакуумні трубчасті колектори можна класифікувати за двома основними конструктивними особливостями скляних трубок і теплового каналу, використовуваних як абсорбера сонячного колектора:

- за типом скляної трубки;
- за типом теплового каналу;

Розглянемо класифікацію за типом скляної трубки. Існує два основних типи конструкції скляної трубки:

- коаксіальна трубка (рис. 1.12);
- пір'яна трубка (рис. 1.13).

Коаксіальна трубка фактично є термосом та являє собою подвійну скляну колбу. В просторі між трубками відкачано повітря, тобто створено вакуум. На стінці внутрішньої трубки нанесено поглинальне покриття, тому передача тепла відбувається від самої скляної колби. Пір'яна трубка являє собою одностінну скляну колбу. Вакуум в даній трубці знаходиться в просторі теплового каналу, в да-



Рисунок 1.12 – Вакуумна коаксіальна колба

них трубках частина теплового каналу і абсорбера інтегрована всередині самої колби.

За типом теплового каналу сонячні вакуумні трубчасті колектори можна розділити на два типи:

- з тепловим каналом типу «Heat pipe»;
- з прямоточним тепловим каналом.

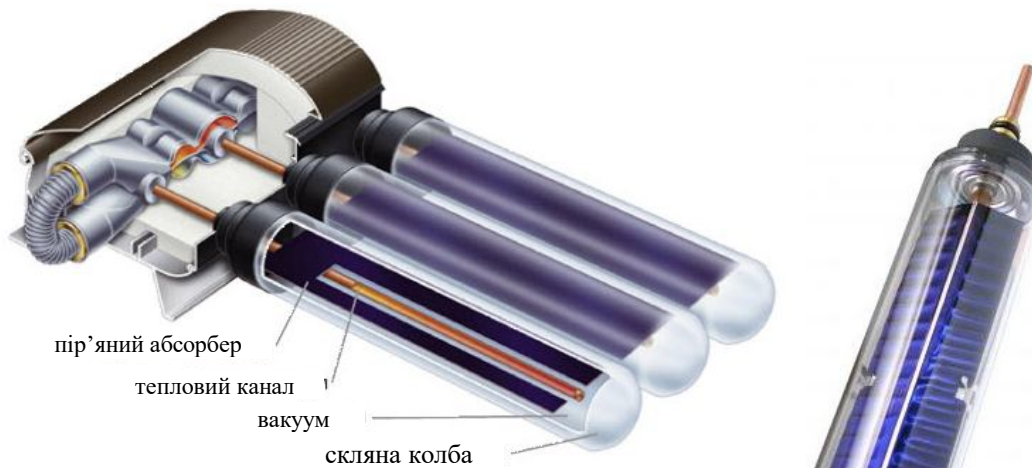


Рисунок 1.13 – Приклади пір'яних трубок

Сонячний вакуумний колектор з трубкою типу «Heat-pipe», тобто теплова труба, займає більшу частину ринку сонячних колекторів. Принцип роботи теплової трубки заснований на тому, що в закритих трубках з теплопровідного металу (міді або алюмінію) знаходиться рідина, що легко випаровується. Перенесення тепла відбувається за рахунок того, що нагріта під дією сонячного випромінювання рідина, випаровується на нижній частині трубки, поглинаючи при цьому теплоту випаровування і конденсується у верхній частині (теплотозбірник). Потім рідина знову перетікає вниз і процес повторюється. Теплоносій через поглинач відбирає тепло, що виділяється. Схема роботи теплової трубки в вакуумному сонячному колекторі зображена на рисунку 1.14. Маніфольд – це пристрій у вигляді металевого блоку, який виступає в якості теплозбірника.

У вакуумних трубчастих сонячних колекторах з прямоточним каналом,

теплоносії безпосередньо протікає і нагрівається в кожній з трубок колектора. До нього приєднані вакуумні трубки, які передають теплову енергію через кон-

денсатор, розташований в самому верху трубки.

Розглянемо більш докладно можливі конфігурації сонячних вакуумних колекторів.

Вакуумна коаксіальна трубка може поєднуватися з тепловим каналом типу «Heat-pipe». Даний сонячний вакуумний колектор є найбільш поширеним через свою низьку вартість і простоту заміни пошкоджених

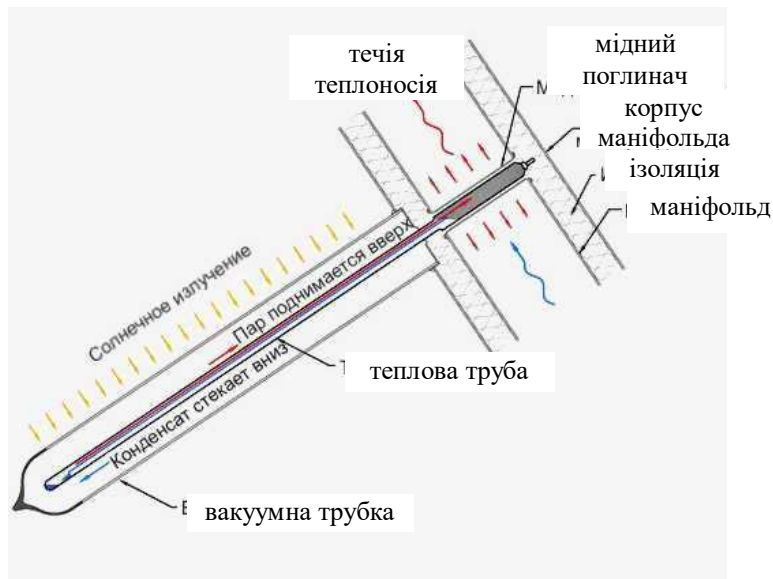


Рисунок 1.14 – Схема роботи теплової трубки в вакуумному сонячному колекторі

трубок (рис. 1.15).

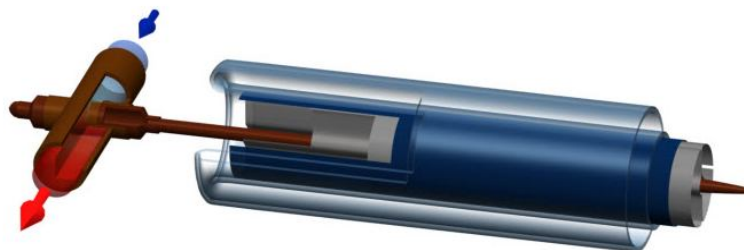


Рисунок 1.15 – Конструктивна особливість сонячного колектора з тепловою трубкою

У вакуумних трубчастих сонячних колекторах з проточним каналом (рис. 1.16), теплоносій безпосередньо протікає і нагрівається в кожній з трубок колектора. Різні типи теплових каналів можуть поєднуватися з різними типами вакуумних колб.

Ці колектори мають досить складний процес передачі тепла. Тепло передається кілька разів, від скла до алюмінієвих ребер, потім від алюмінію до самої теплової труби і тільки потім передається теплоносію геліосистеми.

Тому в поєднанні з круглою формою абсорбуючої поверхні ефективність сонячного колектора цього типу невисока. Показники максимального оптичного ККД η_{\square} колектора сягають 65 %.

Коаксіальна вакуумна трубка так само може бути використана для колектора з прямоточним тепловим каналом. Даний тип сонячного вакуумного колектора отримав назву колектор з *U*-образною трубкою – рисунок 1.17.

В даних типах колекторів, за рахунок зменшення кількості теплопередач (теплота від алюмінієвого шару передається відразу трубкам, в яких циркулює теплоносії геліосистеми), максимальний ККД може становити для деяких моделей до 76 %. Недоліком може бути те, що при певному характері ушкодження, заміни може потребувати весь сонячний колектор, а не тільки колба.



Рисунок 1.16 – Вакуумна коаксіальна трубка з прямоточним тепловим каналом; 1 – зовнішня скляна колба, 2 – високоселективне поглинаюче покриття, 3 – алюмінієва вставка, 4 – тепловий канал з теплоносієм, 5 – вакуумний прошарок, 6 – внутрішня скляна колба

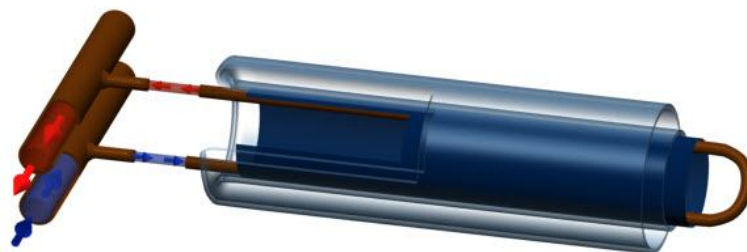


Рисунок 1.17 – Конструктивна особливість колектора з прямоточним тепловим каналом та *U*-образною трубкою

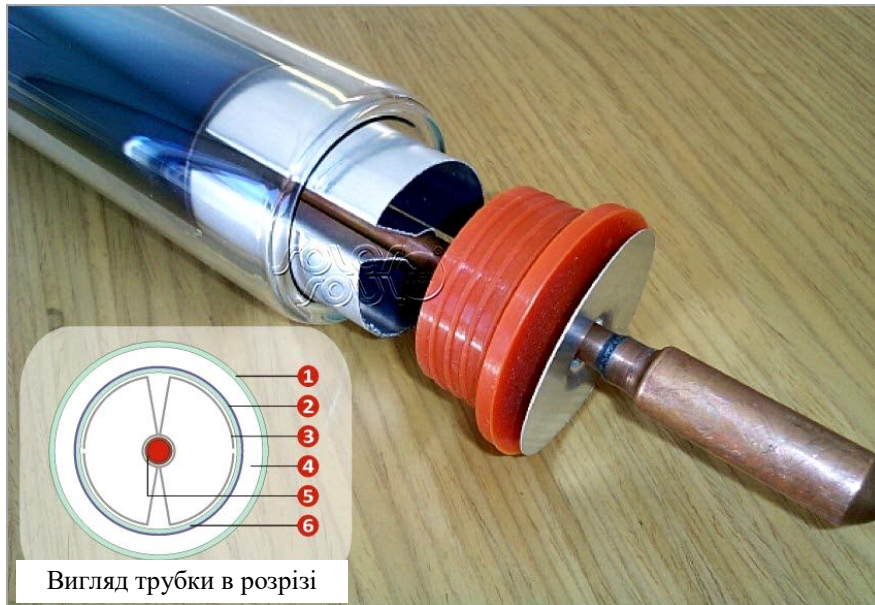


Рисунок 1.18 – Вакуумна коаксіальна трубка в поєднанні з тепловим каналом «Heat-pipe»

1 – зовнішня скляна колба, 2 – високоселективне поглинаюче покриття, 3 – алюмінієві ребра, 4 – вакуумний прошарок, 5 – тепловий канал з рідиною, яка легко випаровується, 6 – внутрішня скляна колба

Вакуумна коаксіальна трубка в поєднанні з тепловим каналом «Heat-pipe» зображена на рисунку 1.18.

Пір'яна трубка так само може поєднуватися з тепловим каналом «Heat-pipe» (рис. 1.19). Дані вакуумні трубчасті колектори мають більш високі оптичні характеристики, ніж колектори з коаксіальною трубкою. У деяких виробників значення максимального ККД досягають 77 %. Цьому сприяють деякі конструктивні особливості: плоский абсорбер з безпосередньою передачею теплоти до теплової трубки, а так само один шар скла, що значно зменшує відображення сонячного випромінювання. Так само зручним є процес заміни пошкоджених трубок, що не вимагає заміни всього колектора і зливання теплоносія всієї геліосистеми.

Найбільш ефективним поєднанням є пір'яна трубка з прямоточним тепловим каналом (рис. 1.20). Такий сонячний вакуумний колектор має максимальний ККД до 80 %. Але при заміні пошкоджених трубок потрібно зливати теплоносій всієї геліосистеми. Так само ці колектори мають досить високу ціну.

Схема циркуляції теплоносія в вакуумному колекторі з пір'яною трубкою і прямоточним тепловим каналом зображена на рисунку 1.21.

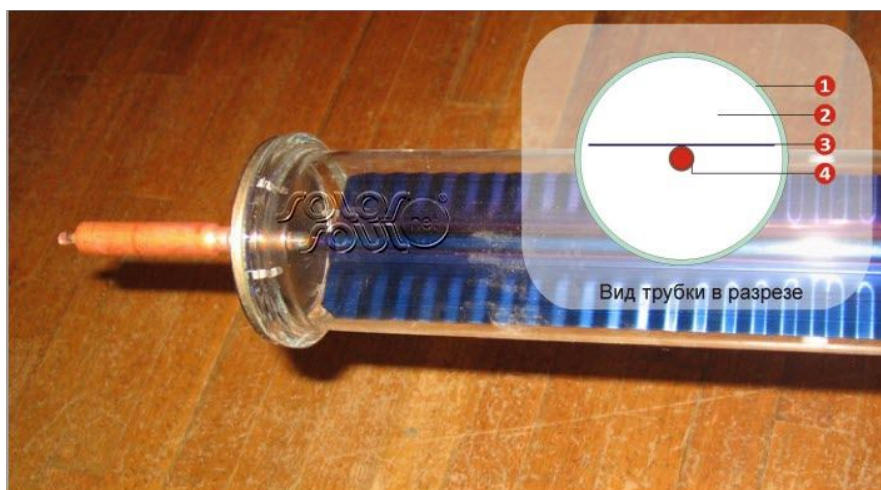


Рисунок 1.19 – Пір'яна трубка з тепловим каналом типу "Heat pipe":
1 – скляна колба, 2 – вакуумний прошарок, 3 – мідний абсорбер з високоселективним покриттям, 4 – тепловий канал з рідиною, яка легко випаровується

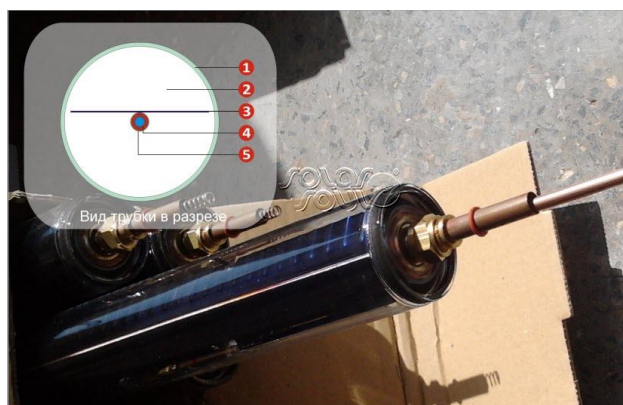


Рисунок 1.20 – Пір'яна трубка з прямоточним тепловим каналом
1 – скляна колба, 2 – вакуумний прошарок, 3 – мідний абсорбер з високоселективним покриттям, 4 – внутрішній теплової канал з теплоносієм, 5 – зовнішній теплової канал з теплоносієм (що нагрівається).

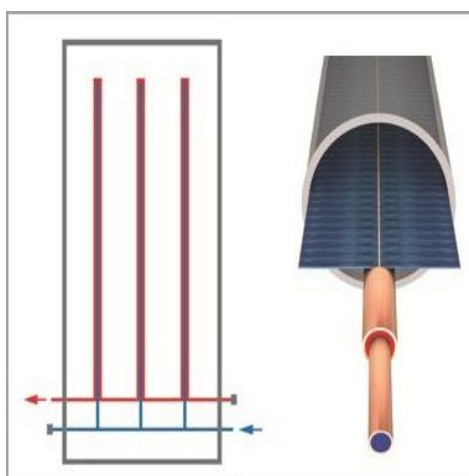


Рисунок 1.21 – Схема циркуляції теплоносія в вакуумному колекторі з пір'яною трубкою і прямоточним тепловим каналом

1.3 Фокусуючі сонячні колектори

У фокусуючих (концентруючих) сонячних колекторах застосовуються різні системи дзеркал або лінз для збільшення щільності потоків сонячного випромінювання, що падають на поглинальну поверхню плоских або трубчастих поглиначів (рис. 1.22). Крім параболічних дзеркал застосовуються плоскі або циліндричні дзеркала. Концентруючі сонячні колектори характеризуються малими габаритними розмірами. Вони повинні бути орієнтовані перпендикулярно до напрямку падіння сонячних променів, тому мусять бути оснащені пристроями, що управляють їх обертанням разом з рухом сонця (слідкуючі пристрої). Такі колектори можуть мати потужність від кількох десятків до кількох сотень ват і їх енергія може бути перетворена в теплову енергію, використану для підігріву води.

Найдешевша з концентруючих установок була отримана завдяки дослідженням науковців з німецького інституту Fraunhofer. Пристрій використовує у якості концентратора лінійне дзеркало Фрешнеля (Fresnel), а у якості теплоносія – воду, що при перегріванні випаровується і подається на турбіну. Відбиті від дзеркал промені падають на поглинач. Поглинач – це труба довжиною 100 м, яка наповнена водою та знаходиться на декілька метрів над полем дзеркал (рис. 1.20) [3].



Рисунок 1.22 – Вигляд (а) та схема (б) концентруючого сонячного колектора

Конструкція концентруючого геліоприймача представлена на рисунку 1.23 [1].

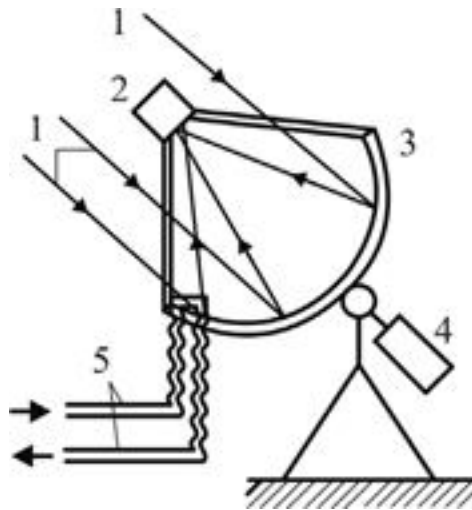


Рисунок 1.23 – Конструкція концентруючого геліоприймача (параболічного концентратора): 1 – сонячні промені; 2 – теплосприймаючий елемент (сонячний колектор); 3 – дзеркало; 4 – механізм приводу системи стеження; 5 – трубопроводи, що підводять і відводять теплоносії

Концентруючі геліоприймачі представляють собою сферичні або параболічні дзеркала, що виконані з полірованого металу, в фокус яких поміщають елемент, що сприймає тепло (сонячний котел), через який циркулює теплоносії (вода або незамерзаюча рідина). При використанні в якості теплоносія води в нічні години і в холодний період систему обов'язково спорожнюють, для запобігання її замерзання.

Для забезпечення високої ефективності процесу уловлювання і перетворення сонячної радіації цей геліоприймач повинен бути постійно спрямований на Сонце. З цією метою геліоприймач постачають системою стеження, що включає датчик напрямку на Сонце, електронний блок перетворення сигналів, електродвигун з редуктором для повороту конструкції геліоприймача в двох площинах.

На рисунку 1.24 [1] представлена принципова схема рідинної комбінованої двухконтурної низькотемпературної системи сонячного опалення з параболоциліндричним концентратором і рідинним теплоаккумулятором. У контурі геліоприймача в якості теплоносія застосований антифриз, а в контурі системи опалення – вода.

Перевагою систем з концентруючими геліоприймачами є здатність вироблення теплоти з відносно високою температурою (до 100°C) і навіть пара. До недоліків слід віднести високу вартість конструкції; необхідність постійного очищення поверхонь, що відбивають, від пилу; роботу тільки в світлий час доби, а отже, потребу в акумуляторах великого обсягу; великі енерговитрати на привід системи стеження за ходом Сонця, співмірні з вироблюваною енергією. Ці недоліки стримують широке за-

стосування активних низькотемпературних систем сонячного опалення з концентруючими геліоприймачами. Останнім часом найбільш часто для сонячних низькотемпературних систем опалення застосовують плоскі геліоприймачі.

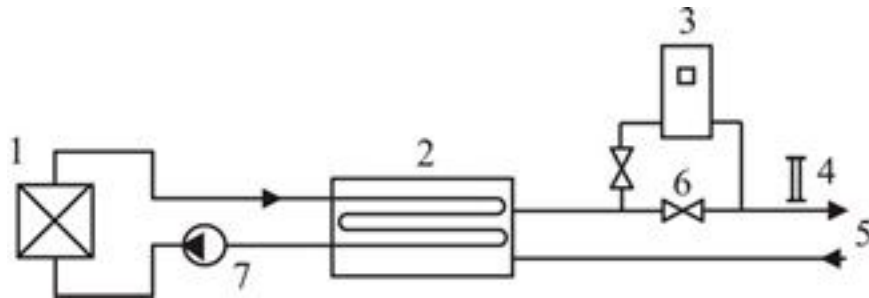


Рисунок 1.24 – Рідинна комбінована двоконтурна низькотемпературна система сонячного опалення з параболоциліндричним концентратором і рідинним теплоаккумулятором: 1 – параболоциліндричний концентратор; 2 – рідинний теплоаккумулятор; 3 – додаткове джерело тепла; 4 – термометр; 5 – контур системи опалення; 6 – регулюючий вентиль; 7 – циркуляційний насос

РОЗДІЛ 2 ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ І ОПАЛЕННЯ

2.1 Конструкція, наладка, введення до експлуатації та обслуговування геліоколекторних установок

2.1.1 Конструкція геліоколекторних установок

Поле колекторів, теплотраси з відповідним устаткуванням і теплообмінником (чи солярний накопичувач з теплообмінником) утворюють основу геліоколекторної установки (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Поле геліоколекторів на плоскому даху

Солярне устаткування по кількості контурів, що підключаються до колекторного поля, підрозділяють на одно-, двох- чи багато- контурне. Чим більше контурів, тим краще утилізує система енергію, отриману колекторами. Звичайно, вони є дорожчими і зазвичай їх доцільно використати у разі застосування більш ніж трьох колекторів. За способом забезпечення циркуляції в первинному контурі вони підрозділяються на:

- термосифонні (гравітаційні) системи, в яких теплоносій приводиться в рух на основі різниці питомих ваг гарячого і холодного теплоносія;
- системи з примусовою циркуляцією за допомогою насосу.

Термосифонна циркуляція застосовується в основному в одноконтурних системах. Колектори зі змієподібним абсорбером, тобто теплові ряди уніфікованих колекторів не годяться для термосифонних систем. Для таких систем використовуються колектори в комплекті з усім устаткуванням, включаючи бойлер і опорну конструкцію. Термосифонні установки досягають меншого енерге-

тичного річного прибутку, ніж системи з примусовою циркуляцією, що пов'язано зі зниженою швидкістю циркуляції при малих потужностях.

Приладдя колектора

До приладдя колектора відносяться ті частини первинного контуру, якими колектори приєднуються один до одного і до інших деталей солярного устаткування. До цієї групи також відносяться пристрій для виведення повітря, який встановлюється прямо на колектор, і гільза для датчика температури.

При підключенні солярного устаткування з мідними трубопроводами для пайки використовують наступний фітинг:

- патрубок;
- Т-подібне відгалуження (трійник);
- пробка;
- пробка з пристроєм для виведення повітря;
- кутове відведення.

У разі застосування трубопроводів з чорної сталі потрібні також латунні перехідники з різьбленням, які підключаються до колекторів пайкою:

- Т-образне відгалуження (трійник);
- роз'ємне з'єднання кутове;
- роз'ємне з'єднання пряме;
- перехідник.

Пристрої для виведення повітря, що монтуються на колекторах, застосовуються в наступному виді:

- пробка з пристроєм для видалення повітря
- повітрозбірник з вентилем.

Датчик температури зазвичай монтується на останній колектор в гільзу, яка безпосередньо притиснута до абсорбера, або у вихідний патрубок.

Опорні конструкції

Опорну конструкцію з колекторами у більшості випадків поміщають у відносно недоступних місцях, де вона перебуває під постійним атмосферним впливом. Конструкції з анодованого алюмінію не потребують обслуговування, і їх термін служби співпадає з колекторами. Передбачаються варіанти конструкції для монтажу колекторів на плоский і похилий дахи або для монтажу в дах, коли колектори служать одночасно і покриттям.

Опорні конструкції поставляються для систем до 8 метрів або для посилених систем – до 20 метрів над рівнем землі. Для великих систем або у разі монтажу систем понад 20 метрів розробляється уточнений проект, в який вхо-

дить статичний розрахунок. Документи, в які включені основні принципи монтажу і керівництво по монтажу, додаються до кожного набору конструкції.

Теплообмінники, солярні бойлери та накопичувачі тепла

Для невеликих сонячних установок використовуються бойлери зі збільшеною теплообмінною поверхнею, порівняно із вживаними в системах центрального опалювання. Зазвичай їх називають «солярний бойлер». Його об'єм вибирають на основі розрахункової або передбачуваної витрати гарячої води. Об'єм бака і площа теплообмінника у кожному конкретному випадку розраховуються відповідно до кількості колекторів. Орієнтовно, для сонячних колекторів до 12 м² на кожен квадратний метр колектора доводиться 50 літрів об'єму і теплообмінник площею 0,3 м². Іншою важливою особливістю солярного бойлера, з точки зору його терміну служби, являється антикорозійна обробка внутрішньої поверхні. До кращих покриттів відносяться тефлон і кераміка.

Окремі елементи сонячного устаткування необхідно вибирати так, щоб виключити комбінацію матеріалів, що створюють електрокорозію. Допускаються наступні комбінації матеріалів для складових частин солярного устаткування з сучасними колекторами:

- трубопроводи: мідь, чорна сталь;
- теплообмінник: мідний, з нержавіючої сталі з латунним перехідником, сталевий з латунним перехідником.

Для великих солярних установок або в тих випадках, коли необхідно відокремити різні контури, застосовуються пластинчаті протитечієві теплообмінники. Їх перевага:

- велика потужність і підвищений ККД;
- невеликі габарити.

Перш ніж монтувати складні, великі сонячні установки, необхідно визначити їх оптимальний розмір. При використанні дублікатів (подвійний корпус) або простих трубчастих теплообмінників, вбудованих у бойлер, виходить нижчий коефіцієнт корисної дії (ККД). Коефіцієнт теплопередачі в цьому випадку істотно менше, що спричиняє за собою падіння ККД залежно від різниці температур. Таке рішення застосовне в невеликих сонячних установках для підігрівання води, оскільки вони не потребують циркуляційного насоса і обходяться дешевше за капітальними витратами і в експлуатації.

У разі монтажу сонячної установки у будівлі, в якій вже існує бойлер для гарячої води, доцільно перед цим бойлером підключити ще солярний бойлер. Послідовне підключення двох бойлерів (накопичувачів) вигідніше, оскільки

недостатнє розшарування гарячої і холодної води в одному бойлері (накопичувачі) робить негативний вплив на ККД.

Холодна водопровідна вода підігрівається в солярному бойлері починаючи з 10–15°C до 25–50°C навіть в період зниженої інтенсивності сонячного випромінювання. Класичний бойлер доводить температуру до необхідного рівня (55°C) з істотно меншими витратами.

При великих солярних бойлерах і накопичувачах тепла необхідно враховувати і небезпеку появи бактерій типу «легіонелла». Ці бактерії мають циліндричну форму і є природною складовою частиною будь-якої прісної води. Їх існує більше 30 видів. Для здоров'я людини небезпечні тільки ті види бактерій, які розмножуються найшвидше при температурі 30–45°C. Людина може заразитися при потраплянні крапель води, що містять ці бактерії, в організм. Суть боротьби з бактеріями полягає в тому, що бойлери місткістю більше 400 літрів обов'язково один раз в добу підігрівають до температури 60°C, при якій бактерії знищуються. У спеціальній літературі приведені гідравлічні схеми великих солярних установок, принцип розрахунку яких полягає у відділенні великого накопичувача від робочого бойлера гарячої води об'ємом не більше 400 літрів за допомогою теплообмінника.

Циркуляційний насос та зворотний клапан

Циркуляційний насос забезпечує рух теплоносія між колекторами і теплообмінником. Зазвичай колектори в кількості до 10 штук в одному ряду підключаються паралельно. При цьому при витраті теплоносія 70 літрів на годину і його температурі 50°C перепад тиску складає приблизно 3 кПа. Ці вимоги здійсненні будь-яким насосом за умови, якщо його можна використати для роботи на розчині пропіленгліколю. Дуже надійними в цьому відношенні являються насоси простого монтажу з регулюванням потужності до декількох мір.

Оскільки витрата тепла більшістю насосів перевищує потрібну величину, в контур насоса включається регулюючий елемент. Кращими з них є кульовий вентиль або засувка. Щоб виключити циркуляцію теплоносія у зворотному напрямі, в контур монтують (в обов'язковому порядку) зворотний клапан. На роботу системи клапан не робить ніякого впливу, чи буде він горизонтального або вертикального типу.

Трубопроводи та теплоізоляція

Трубопроводи первинного контуру повинні витримувати температуру 180 °C і тиск залежно від типу використаного запобіжного клапана. Діаметр трубопроводів визначається на основі їх довжини і кількості колекторів. Засто-

совуються труби з міді або чорної сталі.

Для первинних контурів з металевими абсорберами не рекомендується використовувати пластмасові труби. Проблематичним є і застосування оцинкованої сталі, оскільки теплоносії повинен містити в цьому випадку відповідні інгібітори корозії.

Для великих відстаней або більшої кількості колекторів діаметри труб визначають розрахунком. Теплоізоляція первинного контуру дуже важлива, тому що втрати тепла можуть різко знизити ККД солярної установки. Вимоги по теплоізоляції такі ж, як і у разі інших теплотрас з урахуванням того, що вживаний матеріал не повинен вбирати вологість і бути стійким до ультрафіолетового випромінювання. Одночасно необхідно враховувати той факт, що у разі збою електроживлення і пов'язаного з ним відключення насоса, в деяких місцях контуру досягається температура 160–180°C. З цієї причини трубопровід між колекторами і теплообмінником не рекомендується ізолювати матеріалами, виготовленими з пластиків, а тільки на основі мінеральних волокон. Цим вимогам повністю задовольняють ізоляційні прошарки із скловолокна. Вони зазвичай покриті армованою алюмінієвою фольгою і закріплюються самоклеючою стрічкою. У разі потреби, для механічного захисту ізоляції, застосовуються міцніші матеріали.

З пластмасових теплоізоляційних матеріалів найбільшу температурну стійкість мають матеріали, виготовлені на базі синтетичного каучуку. Ці матеріали застосовують на виході з колектора в якості другого шару, коли в якості першого шару служать скляна стрічка або інший термостійкий матеріал.

Деаерація и видалення повітря

Основною передумовою хорошої циркуляції теплоносія є повне видалення повітря з контуру. Пристрій для виведення повітря використовується при заповненні системи рідиною, з якої поступово, під впливом підігрівання, звільняється розчинене повітря.

Застосовують також ручний пристрій для виведення повітря, деаераційний бачок з ручним вентилям або відповідний автоматичний пристрій для виведення повітря. Потрібно враховувати, що при монтажі на колектор або пряму гілку перед теплообмінником, вони повинні працювати при 160–180 °C. Зазвичай деаераційний бачок підключають у вищій точці устаткування (на виході з колектора) з виведенням і запірним краном на горищі або в машинному залі. У такому разі дуже зручно заповнювати, перевіряти на щільність і деаерувати контур з одного місця. У вищій точці устаткування підключають і ручний пристрій для виведення повітря, який використовується при заповненні контурів. У

машинному залі, за циркуляційним насосом, підключають і автоматичний абсорбуючий пристрій для виведення повітря.

Застосовуючи стандартну запірну і регулюючу арматуру, різьбові з'єднання, розширювальні баки з гумовою мембраною, неможливо виключити повільне, але постійне проникнення повітря дифузією в закритий первинний контур. В результаті теплоносій поступово насичується повітрям. Це насичення пропорційно абсолютному тиску повітря над рідиною і збільшується з підвищенням температури.

Негативний вплив повітряних бульбашок в первинному контурі полягає в наступному:

- пониження ККД установки в результаті збільшення витрат;
- погіршення теплопередачі в колекторах і теплообміннику (зменшення поверхні теплообміну);
- прискорення корозійних процесів з подальшим скороченням терміну служби устаткування;
- ушкодження циркуляційного насоса (ерозія лопаток через кавітацію, знос підшипника).

Окрім стандартних способів видалення повітря, заснованих на застосуванні різних вентилів, існує також інші методи, наприклад, за рахунок різкого пониження швидкості рідини в камері, заповненій спеціальними кільцями. Через пониження рівня рідини поплавець відкриває вентиль, і зайве повітря викидається в атмосферу. Потім рівень рідини піднімається до норми, і поплавець закриває вентиль. В результаті вдається видалити усі повітряні бульбашки, що сприятливо впливає на правильну роботу первинного контуру.

Насос підживлення

Цей насос використовується для заповнення первинного контуру теплоносієм, або у разі несправності в контурі, яка виникає внаслідок появи повітря в системі або скидання рідини. Застосовується будь-який ручний або електричний насос з тиском. Зазвичай в системах із запобіжником, що розрахований на тиск 600 кПа, заповнюючий тиск дорівнює 350 кПа.

Розширювальний бак та запобіжний клапан

Первинний контур геліоколекторної установки монтується виключно як закритий з розширювальним напірним баком. Останній компенсує об'ємні зміни, які виникають при зміні температури теплоносія. Якщо об'єм розширювального бака занадто малий, то при охолодженні теплоносія може виникнути підсос в контурі. Це спричиняє за собою підсос повітря через нещільність в арматурі. При збої електроживлення, температура теплоносія може досягти точки

кипіння, тобто утворюється пара, і в результаті відбувається скидання рідини через запобіжний клапан. У обох випадках з'являється повітря в первинному контурі, і це може викликати уповільнення циркуляції теплоносія, а також підвищену корозію усіх металевих елементів.

Щоб уникнути цього ефекту, необхідно раціонально підбирати об'єм розширювального бака і правильно його підключити до первинного контуру. При розрахунку об'єму розширювального бака враховують не лише вплив припинення циркуляції теплоносія в первинному контурі, а також можливість його закипання в колекторах.

Запобіжний клапан підбирають з урахуванням граничного робочого тиску первинного контуру, який найчастіше визначається граничним тиском колектора або вживаного устаткування (частіше за увесь напірний розширювальний бак).

Інші елементи первинного контуру

Це елементи, які в деякій мірі покращують роботу сонячної установки, але не є обов'язковими в її структурі:

- фільтр механічних забруднень уловлює тирсу та інші механічні домішки, які можуть з'явитися в устаткуванні, передусім під час монтажу; існує велика кількість різних типів таких фільтрів, основним критерієм яких є діаметр трубопроводу;

- манометр, яким користуються під час пуску системи та впродовж експлуатації для контролю; зазвичай, застосовують манометри, робочий діапазон яких вибирають залежно від максимального тиску контуру;

- термометри, з яких найбільш відповідними є біметалічні (вимірюють температуру до 150 °С); їх вставляють в гільзу на трубопроводі в прямій і зворотній гілках, а якщо застосовується регулятор з відображенням температури на дисплеї, окремі термометри не потрібні;

- витратомір, який використовується для зручного і швидкого налаштування робочих параметрів сонячної системи.

Вузол керування

Це силовий електронно-механічний блок забезпечення роботи геліоколекторних установок. Він сприяє простому і зручному монтажу геліоколекторної установки і знижує вимоги до рівня професійної підготовки і витрат робочого часу. Блоки поставляють декількох видів для різних типів насосів, з витратоміром або кульовим вентилем. За бажанням замовника контролер можна обладнати приладом для виміру поточної і загальної кількості енергії сонця.

Електронні регулятори

Регулятор за заданим законом управління, включає циркуляційні насоси тоді, коли температура колекторів перевищує температуру споживачів тепла (у більшості випадків у бойлері гарячої води). Регулятори багатоконтурних систем, крім того, управляють триходовими кранами, які у свою чергу перемикають окремі контури.

Алгоритм перемикання контурів наступний. В першу чергу заряджається теплом контур з найбільш високою температурою. Після досягнення граничної температури цього контуру або при пониженні інтенсивності сонячного випромінювання нижче необхідного рівня відбувається перемикання на другий або подальший контур. Першим контуром у більшості випадків є бойлер гарячої води. Другим може бути система опалювання або підігрівання води у басейні, третім – підігрів води у басейні.

2.1.2 Наладка та введення до експлуатації геліоколекторних установок

Сучасні серійні сонячні колектори компактні, вони стійкі до зовнішніх механічних дій, а їх монтаж дуже простий. Проте є декілька важливих вимог, які слід враховувати при поводженні з колекторами. Транспортують колектори в горизонтальному положенні не більше 15 штук, укладених один на одного. Під час транспортування вони мають бути закріплені, а скло захищене картоном. Якщо колекторів більше трьох штук в штабелі, слід обов'язково застосовувати розпірки відповідно до рекомендацій виробника.

У складських приміщеннях при температурі повітря вище 0°C термін зберігання колекторів не обмежений. Не допустиме попадання прямого сонячного світла на абсорбер колекторів. Різкі зміни температури викликають конденсацію води усередині колекторів.

Для монтажу колекторів найбільш підходить тепла суха погода, але небажано їх монтувати під час інтенсивного сонячного випромінювання. Якщо цього не уникнути, то до заповнення колекторів теплоносієм необхідно застосувати будь-які захисні покриття.

Монтаж вакуумних трубок

Скляну вакуумну трубку встановлюють в нижній тримач, після чого підтягують до збірного колектора. При цьому трубку можна обертати по подовжній осі без наслідків для неї (фіксатор на тій, що направляє має бути відкритий). Після установки трубки необхідно зашпинути фіксатор.

Перед установкою виконуються наступні операції:

- термобалон (конденсатор) теплової трубки змащують термопастою перед встановленням у збірний колектор;
- контролюють положення термобалону в посадочному отворі, він повинен повністю входити в цей отвір;
- щільно затягують усі з'єднання.

Рекомендується починати монтаж установки з підготовки каналів трубопроводів. Далі ведеться монтаж рами і настановного колектора. Після завершення операцій по з'єднанню елементів встановлюють вакуумні трубки (рис. 2.2).



Для установки колекторів рекомендується застосовувати опорні конструкції, виготовлені з використанням анодованого алюмінію, які досить різноманітні. Ці конструкції встановлюють:

- на даху зі схилом;
- на рівному даху малої висоти або на поверхню землі;
- на рівному даху великої висоти;
- можуть бути інтегровані в дах з схилом.

Трубки, що виходять з колекторів, не мають бути навантажені такими моментами, що їх вигинають і обертають.

Рисунок 2.2 – Монтаж теплових трубок

Найбільша кількість колекторів в одному ряду зазвичай не повинна перевищувати 10 штук.

При використанні додаткової теплоізоляції на базі мінеральних волокон необхідно уникати утворень зон конденсації на поверхні корпусу колектора. Така конденсація може викликати корозійні ушкодження виробу. Небезпека полягає в застосуванні лужних добавок в процесі виробництва мінеральних ізоляцій. Цю вимогу необхідно виконати також при ізоляції вхідних і вихідних трубопроводів. Рекомендується відступити на 5 мм від корпусу колектора. Колектори можна монтувати самостійно, але, як правило, для повного використання їх можливостей потрібно кваліфікований монтажний персонал і, у разі застосування складніших установок, розробка відповідного проекту.

Монтаж колекторів на плоский дах.

Для установки колекторів на похилий дах застосовують типову опорну

конструкцію, що дозволяє зручний і швидкий монтаж. У більшості випадків не треба здійснювати ніяких додаткових ущільнень покриття завдяки спеціальним кріюкам, на яких встановлюється уся конструкція. Поставляються конструкції на два або три колектори з можливістю утворення рядів до десятка колекторів. Для з'єднання конструкцій один з одним передбачаються спеціальні сполучні елементи. Усі окремі елементи конструкції упаковують разом з інструкцією по монтажу. Якщо нахил даху різко відрізняється від необхідного кута 45° , передбачають профілі різної довжини, які використовуються для коригування цього кута.

Монтаж колекторів на плоский дах

Для монтажу колекторів на плоскому даху або будь-якій горизонтальній поверхні передбачають особливу конструкцію. У разі монтажу колекторів на землі необхідно забезпечити висоту нижньої грані колекторів мінімум 0,5 м. Опорні конструкції для монтажу на плоскому даху уніфікують в двох видах:

- на малу висоту: 8–10 м,
- на велику висоту: 20 м і більше над рівнем землі.

Конструкції виконуються модульними з можливістю з'єднання до 10 колекторів. Для з'єднання конструкцій один з одним передбачені спеціальні сполучні елементи. У більшості випадків опорну конструкцію закріплюють до даху за допомогою великих шурупів. Опорну конструкцію до 8–10 м над рівнем землі допускається закріплювати до бетонних балок завдовжки 1500 мм. Останні повинні забезпечити навантаження в розмірі 170 кг для кожного 1 м² колектора.

Колекторні поля, що складаються з чотирьох і більше колекторів, слід кріпити під крайніми колекторами вітряними кріпленнями. Для систем з двох або трьох колекторів досить одного кріплення.

Монтаж колекторів, що вбудовані в дах

Цей спосіб монтажу найбільш прийнятний в тих випадках, коли одночасно зводять будинок і сонячну установку або при реконструкції даху. Тоді колектори одночасно служать як покриття. Для такого монтажу передбачається профіль з анодованого алюмінію. Ущільнення вертикальних проміжків між колекторами в одному ряду здійснюється за допомогою алюмінієвого U-подібного профілю і мастики на основі силікону. Горизонтальні проміжки між колекторами і покриттям даху закривають бляшаними пластинами.

Трубопровід для теплоносія

Теплоносій, який використовується в цих системах, є спеціально підготовленою рідиною на глікогелевій основі для сонячних систем нагріву. Для на-

дійної роботи установки використовуються тільки рекомендовані виробником рідини. У літній період року і у разі, якщо теплоаккумулятор повністю нагрітий, температура в сонячному колекторі може підніматися до 200°C. Максимальний робочий тиск теплоносія в системі складає до 0,6 МПа. З цієї причини при монтажі необхідно забезпечити високоякісні з'єднання трубопроводів. Для з'єднання колекторів, а також з'єднання жорстких трубопроводів з колектором використовуються тільки гофровані металеві патрубки.

Трубопроводи необхідно прокладати як можна коротшим шляхом від колектора до теплоаккумулятору і без перепадів, які можуть створити місце для скупчення повітря. Якщо цього не можна досягти, то і в цих місцях встановлюються ручні пристрої для виведення повітря.

Монтаж первинного контуру

Монтаж гідравлічних елементів розпочинається із закріплення бойлерів, насосів, теплообмінників або вузла управління. Окремі компоненти розміщують так, щоб вони були доступні для контролю і обслуговування (крани, пристрої для виведення повітря, термометри, манометри). Сполучні трубопроводи виконуються з міді або сталі. При монтажі рекомендується застосовувати м'яку осмотичну пайку. Спеціальну пасту, олово і увесь необхідний сполучний фітинг, а також газовий пальник включають в перелік монтажного устаткування.

Монтаж сталевих труб здійснюють за допомогою зварювання або різьбових з'єднань. Колектори підключають так, щоб подавати холодний теплоносії до нижнього входу і відводити його через верхній протилежний патрубок. Під час монтажу треба уникати попадання тирси і інших забруднень в труби. Температурне розширення трубопроводів досягає величини 2 мм на 1 м, і тому необхідно прийняти відповідні заходи для компенсації цих розширень.

Розширювальний бак підключають після теплообмінника так, щоб між ним і колекторами не було ніякого запірнього елемента.

Датчик температури бойлера встановлюють в його нижній частині.

Абсорбтичний пристрій для виведення повітря належить підключати до трубопроводу за теплообмінником. Якщо в системі знаходиться тільки ручний пристрій для виведення повітря, доцільно вивести трубку в машинний зал. Це значною мірою полегшує видалення повітря з контуру. Можливо також вивести його під дах на горище.

Насос підживлення може бути підключений до системи постійно, але в цьому немає необхідності. У будь-якому випадку він підключається через запірну арматуру. Циркуляційні насоси можуть працювати тільки по замкнутому контуру. На це треба звернути увагу передусім при монтажі насосів вторинних ко-

нтурів (наприклад, у басейні) і розташувати їх в місцях, де немає засмоктування повітря. Вісь обертання повинна знаходитися в горизонтальному положенні.

У найнижчій точці устаткування рекомендується підключити зливний кран. Це полегшить роботу при заміні теплоносія. Застосування вузла управління істотним чином спрощує монтаж. У ньому зосереджені майже усі елементи первинного контуру та його можна просто закріпити на стіні з мінімальними вимогами по площі. До розміщення окремих елементів гідравлічного контуру немає особливих вимог, але рекомендують зосередити їх в одному місці. Зазвичай їх встановлюють біля бойлера або накопичувача тепла. Після перевірки на щільність усі трубопроводи слід ізолювати.

Монтаж регульовального та електричного обладнання

До регулятора сонячної установки підключають:

- живлення напругою 220 В частотою 50 Гц;
- виводи циркуляційних насосів;
- датчики температур;
- виводи (виведення) триходових вентилів.

Конкретні схеми підключення разом з інструкцією по монтажу додаються до кожного регулятора.

Основні вимоги по монтажу

Регулятор поміщають ближче до устаткування і захищають його від попадання вологи. Термоелектричне управління трьохходовими вентилями підключають до напруги 220 В. В складних системах, коли не обійтися без допоміжних реле, рекомендується застосовувати реле з котушкою на 220 В змінного струму. Усі дроти на 220 В мають бути захищені стандартною ізоляцією, з мінімальним перерізом 0,51 мм². Усі електроприлади на 220 В обов'язково підключають до заземлення або занулення. Датчики температури підключаються двохпровідними кабелями. Особливу увагу слід приділяти підключенню датчика температури колектора. Його з'єднання з кабелем має бути стійким до атмосферних умов. Мінімальні перерізи дротів від температурних датчиків слід враховувати у разі застосування систем з опором 100 Ом і кабелем завдовжки більше 10 м.

М'яка пайка мідних трубопроводів

Перед пайкою необхідно механічно зачистити усі стики. Рекомендується застосовувати дротяну щітку, а елементи, що потім сполучаються, покрити шаром спеціальної пасти і з'єднати. За допомогою газового пальника нагрівається місце стику. При появі сріблястих бульбашок необхідно додати м'яку олов'яну пайку у вигляді дроту (рис. 2.3). Процес пайки треба робити з урахуванням усіх

заходів пожежної безпеки, не пошкоджуючи частини (наприклад, ущільнення), що сполучаються. Пайка може здійснюватися також електричним підігріванням.



Рисунок 2.3 – Пайка вакуумованих геліоколекторів

Типові схеми сонячних установок

Існує ряд типових схем підключення. Підключення фотоелектричної батареї безпосередньо до циркуляційного насоса з двигуном постійного струму, що служить в якості основного або запасного джерела циркуляції теплоносія. Окрім термосифонних установок це єдино можливий спосіб застосування сонячних колекторів в районах без електричної мережі. У випадках такого підключення в якості запасного джерела, це рішення виявляється дорожчим в порівнянні з відповідним збільшенням об'єму розширювального бака.

Відомі також підключення, в яких теплоносій з колекторів подається безпосередньо в опалювальні прилади. Перевагою такого рішення є нижчі капітальні витрати (не потрібні теплообмінник і акумулятор тепла). Недоліками цієї схеми є відсутність теплової енергії під час хмарної погоди і великий об'єм теплоносія. Таке рішення доцільне у будівлях з великою теплоакумулюючою здатністю, наприклад, в старих будинках з потужними кам'яними стінами.

2.1.3 Обслуговування та поточний ремонт геліоколекторних установок

Заповнення первинного контуру теплоносієм

Геліоколекторні установки заповнюють виключно теплоносієм на базі антифризу. Лише під час перевірки на щільність допустиме застосування чистої

води при додатній температурі навколишнього середовища. Для систем, що мають вузол управління, додається інструкція по її заповненню.

За допомогою манометра перевіряють тиск в розширювальному баку. У разі потреби тиск підкачують або здійснюють його скидання до 250 кПа. Ручним насосом підживлення закачують теплоносії через запірний кран до тих пір, поки з другого крану почне витікати постійний потік рідини. Тоді другий кран закривають і доводять тиск до 350 кПа. Потім відкривають головну запірну арматуру між входом і виходом заповнення і видаляють повітря з насоса поворотом болта. Включивши насос, через деякий час видаляють повітря у вищій точці системи. Для надійної роботи системи видалення повітря з системи потрібно робити три-чотири рази. На цьому закінчується уся підготовка системи до експлуатації у контурах з абсорбційним пристроєм для виведення повітря. Інакше після одного-двох днів роботи системи необхідно здійснювати повторне видалення повітря, яке звільнилося з рідини.

Під час видалення повітря спостерігають за тиском системи і у разі його падіння підкачують теплоносії. Вказаний тиск відноситься до систем з граничним робочим тиском 600 кПа.

Перевірка на щільність

Перевірку на щільність слід здійснювати після закінчення монтажу при нормальних робочих умовах. Випробувальний тиск становить 550 кПа. У літній період рекомендується використовувати для перевірки чисту воду, яку потім замінюють антифризом. Із заповненої системи видаляють повітря і її доводять до нормального робочого тиску.

Налаштування робочих параметрів сонячної установки

Властивості солярного устаткування пов'язані з технічними параметрами використовуваних елементів (розмір колекторного поля, об'єм бойлера та ін.). Оптимальна експлуатація системи залежить від налаштування електронного регулятора і витрати циркуляційного насоса. Одноконтурні регулятори поставляються зазвичай з двома регулювальними кнопками, використовуючи які, дізнаються про граничну температуру води у бойлері та різницю температур.

У одному і тому ж об'ємі води при більш високій температурі (але не вище 65°C) можна накопити більшу кількість енергії. Для безпеки не можна в трубопроводі подавати гарячу воду більше 65°C та слід уникати утворення накипу. Різницю температур налаштовують залежно від довжини трубопроводу між колекторами і теплообмінником.

У разі багатоконтурних установок налаштовують різницю температур так само,

враховуючи правило, що кожен подальший контур має меншу граничну температуру, ніж попередній. Витрату теплоносія налаштовують на рівні 30–100 л/г на один колектор залежно від схеми підключення. Якщо є можливість регулювання витрати насоса, то настраюють мінімально допустиме значення. Для точнішого налаштування застосовуються кульові вентиля у вузлі управління. Налаштування витрат дуже зручне у разі застосування витратоміру.

Контроль сонячної установки

Сонячній установці потрібний мінімальний час обслуговування. Рекомендується регулярний контроль устаткування для своєчасного виявлення можливих несправностей і забезпечення оптимальної експлуатації. Після пуску в експлуатацію впродовж двох тижнів здійснюють контроль через кожні 2–3 дні. Якщо за цей період не виникнуть ніякі несправності, то надалі досить контролювати установку один раз в 3–4 місяці. Контролю підлягають:

- тиск, який не повинен знижуватися, хоча залежно від температури з'являються невеликі коливання;
- температура в різних місцях устаткування, яка залежить від потужності і не повинна перевищувати гранично допустимих значень;
- наявність повітря в устаткуванні, його перевіряють короткочасним відкриттям пристрою для виведення повітря (через два–три дні повітря з теплоносія виходить);
- робота насоса, який повинен обертатися завжди, коли спалахує відповідна контрольна лампочка регулятора, під час роботи насос злегка вібрує, в чому можна переконатися простим дотиком долоні;
- теплоізоляція, яка має бути сухою і без ушкоджень.

Поточний ремонт

Термін служби колекторів складає більше 20 років. Якщо вибір усіх компонентів устаткування відповідає рекомендаціям розробника і устаткування грамотно змонтоване, то упродовж усього терміну служби система вимагає мінімального догляду. Для забезпечення тривалої безперебійної роботи потрібне наступне:

- заміна або контроль теплоносія після шести років експлуатації;
- перевірка працездатності запобіжного клапана один раз в чотири місяці;
- ревізія електричного устаткування відповідно до місцевих норм.

Вимоги по техніці безпеки

Сонячні колектори і усі компоненти солярного устаткування, фірмового постачання відносяться до безпечних виробів. Вимоги безпеки при монтажі,

обслуговуванні і маніпуляції наступні:

- патрубки сонячного колектора (навіть якщо він не підключений) мають достатньо високу температуру, тому їх не можна торкатися;
- сонячний колектор переносять завжди два робітники, тримаючи його за край корпусу;
- при роботі на даху необхідно особливо строго дотримуватися правил техніки безпеки на висоті;
- при роботі з газовим пальником слід дотримуватися правил пожежної безпеки;
- підключення і ремонт електричного устаткування виконується тільки кваліфікованим персоналом.

2.2 Основи проектування систем сонячного теплопостачання

2.2.1 Розрахунок сонячної радіації, що падає на колектор

Для перетворення в теплову енергію використовується пряме та розсіяне випромінювання. Річний розподіл випромінювання показаний на рисунку 2.4:

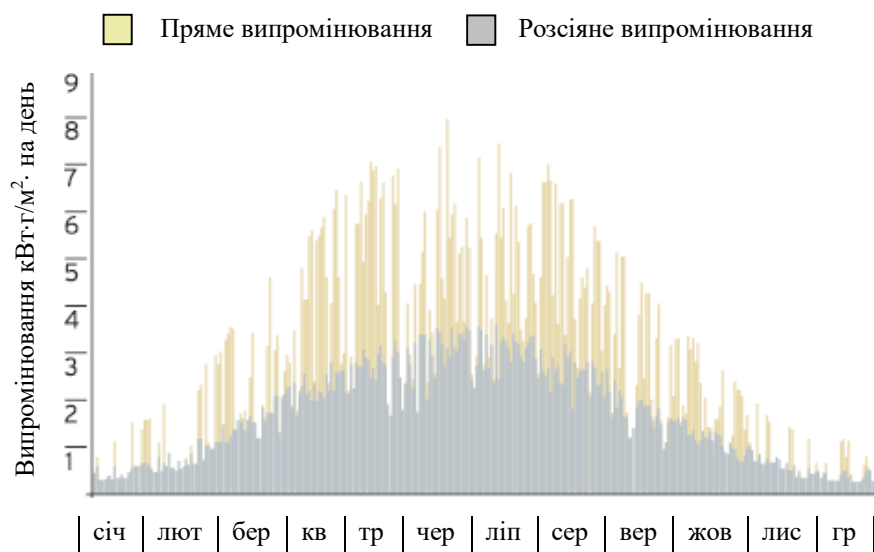


Рисунок 2.4 – Річний розподіл випромінювання

ККД сонячного колектора – це співвідношення корисної термічної енергії і одержуваної сонячної енергії. Крім теплових втрат, в деяких випадках відбуваються оптичні втрати. Оптичний ККД визначає, який відсоток випромінювання через прозоре покриття потрапляє на колектор і поглинається абсорбером.

ККД сонячних колекторів в першому наближенні може бути розрахований за такою формулою: $\eta = \eta_0 - \frac{k \cdot \Delta T}{E}$, (2.1)

де η_0 – номінальний (оптичний) ККД установки при нормальних умовах;
 k – коефіцієнт, що залежить від типу і теплоізоляції колектора;
 ΔT – різниця температур теплоносія і навколишнього повітря (°C);
 E – інсоляція (Вт / м²).

ККД сучасних колекторів виражають формулою:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot \Delta T}{E_g} - \frac{k_2 \cdot \Delta T^2}{E_g}, \quad (2.2)$$

де E_g – щільність сумарного падаючого на колектор сонячного випромінювання, Вт/м²;

η_0 – ККД колектора при $\Delta T = 0$ °C.

В більшості випадків величина η_0 дорівнює добутку пропускну́ї здатності скла φ і поглинальної здатності абсорбера As . Значення коефіцієнта k_2 , також як і k_1 , залежить від конструкції колектора.

У фізичному сенсі ККД виражає відношення теплової енергії, відведеної від одного робочого тіла за допомогою циркулюючого через колектор теплоносія, до падаючої на нього сумарної променевої енергії.

Сучасні виробники колекторів вимірюють ККД експериментально – для кожної конкретної конструкції. Потім проводиться кореляція отриманих значень з урахуванням наведеного вище рівняння. В інженерних розрахунках необхідно враховувати, що ККД змінюється протягом дня і року, тому що залежить від температури колектора, температури навколишнього середовища, а також від інтенсивності падаючого випромінювання.

Приклад зміни ККД плоского колектора зображений на рисунку 2.5.

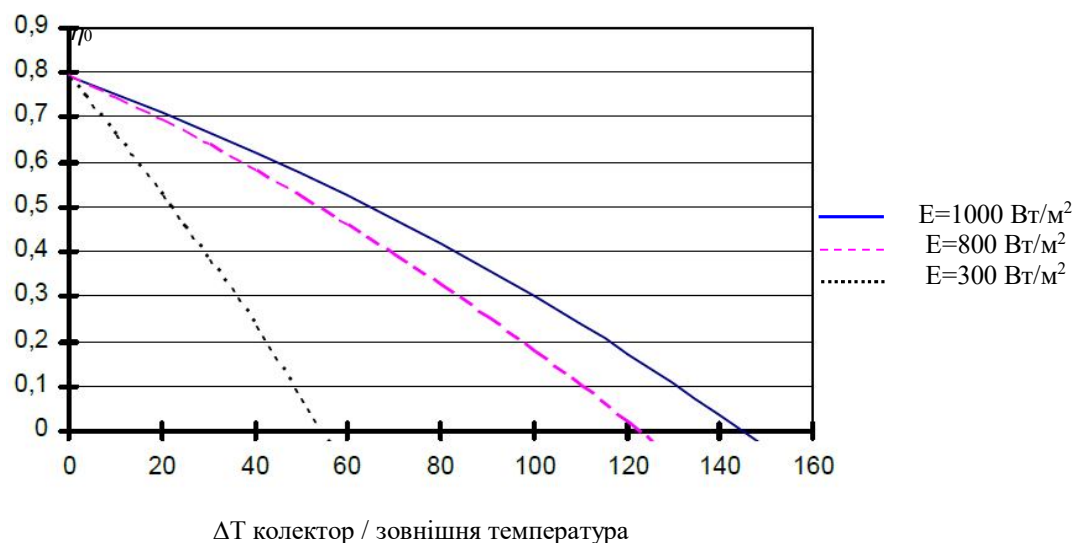


Рисунок 2.5 – Зміна ККД плоского колектора

Розрахунок установки сонячного гарячого водопостачання виконується за годинними сумами прямої і розсіяної сонячної радіації і температури зовнішнього повітря. Інтенсивність падаючої сонячної радіації для будь-якого просторового положення сонячного колектора і кожної години світлового дня q_i , (Вт/м²), слід визначати за формулою:

$$q_i = P_S \cdot I_S + P_D \cdot I_D, \quad (2.3)$$

де I_S – інтенсивність прямої сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, Вт/м²;

I_D – інтенсивність розсіяної сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, Вт/м²;

P_S і P_D – коефіцієнти положення сонячного колектора для прямої і розсіяної радіації.

Коефіцієнт положення сонячного колектора для розсіяної радіації слід визначати за формулою

$$P_D = \cos^2\left(\frac{b}{2}\right), \quad (2.4)$$

де b – кут нахилу сонячного колектора до горизонту.

Наведену інтенсивність поглиненої сонячної радіації $q_{\theta i}$, Вт/м², слід визначати за формулою

$$q_{\theta i} = 0,96 \cdot (P_S \cdot I_S \cdot \theta_S + P_D \cdot I_D \cdot \theta_D), \quad (2.5)$$

де θ_S і θ_D – відповідно наведені оптичні характеристики сонячного колектора для прямої і розсіяної сонячної радіації.

При відсутності паспортних даних ці оптичні характеристики можуть бути прийняті такими:

– $\theta_S = 0,74$; $\theta_D = 0,64$ для колекторів з одним склом;

– $\theta_S = 0,63$; $\theta_D = 0,42$ для колекторів з двома скельцями.

Графік оптимальної розрахункової температури системи опалення при використанні сонячних колекторів представлений на рисунку 2.6.

Оптимальні умови для всього опалювального періоду досягаються в системі 50/30°C, незалежно від хмарності та висоти положення сонця. Обов'язковим є балансування контурів опалення для забезпечення на практиці розрахункових низьких температур в зворотній лінії.

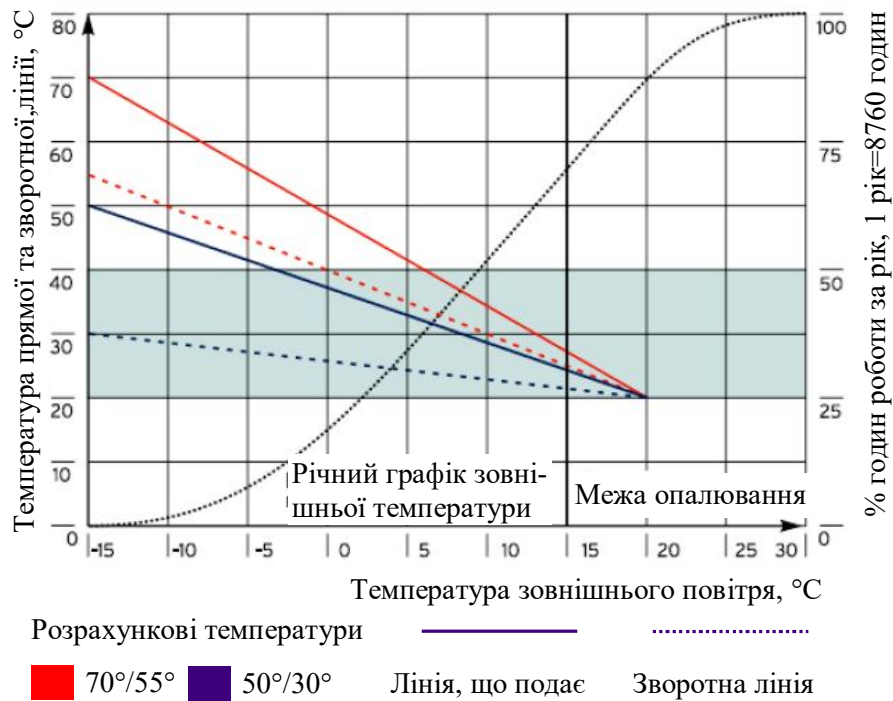


Рисунок 2.6 – Оптимальна розрахункова температура системи опалення при використанні сонячних колекторів

Річний (сезонний) ККД визначається за графіком залежно від площі сонячних колекторів \bar{A} , ($\text{м}^2/(\text{ГДж}\cdot\text{добу})$) і місткістю бака-акумулятора \bar{V} , ($\text{м}^3/(\text{ГДж}\cdot\text{добу})$), що припадає на одиницю добового теплового навантаження гарячого водопостачання, які обчислюються за формулами

$$\bar{A} = \frac{10^6 \cdot A}{4,19 \cdot G \cdot (t_{w2} - t_{w1})}, \quad (2.6)$$

$$\bar{V} = \frac{10^6 \cdot V}{4,19 \cdot G \cdot (t_{w2} - t_{w1})}, \quad (2.7)$$

Сумарна кількість теплоти Q , ГДж / рік, вироблена установкою, визначається за формулою

$$Q = A \cdot \eta \cdot \sum q_i. \quad (2.8)$$

Для добре теплоізованих будівель опалювальний період скорочується, в перехідний сезон найчастіше опалювання не потрібно. Тому геліустановка для таких будинків має менше число колекторів і в перехідний сезон може досягати обмежену міру покриття енерговитрат. Зазвичай в цьому випадку від геліустановки будуть покриті 5–15 % потреби на опалювання, а загальна міра покриття енерговитрат, включаючи ГВП, складе 15–30 %. Ступінь покриття енерговитрат при різній теплоізоляції дому показана на рисунку 2.7.

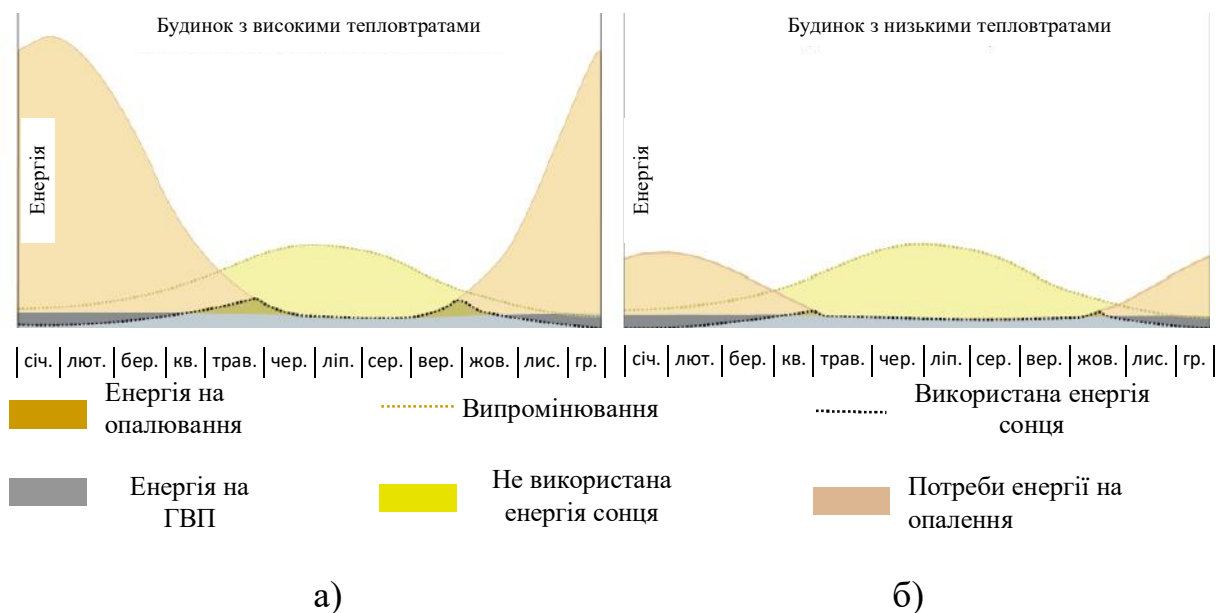


Рисунок 2.7 – Ступінь покриття енерговитрат при різній теплоізоляції дому:

а – для будинку з високими тепловтратами;

б – для будинку з низькими тепловтратами

Визначення теплового потоку в сонячних колекторах

Корисна енергія, відведена з колектора в даний момент часу, - це різниця кількості сонячної енергії, поглиненої пластиною колектора, і кількості енергії, що втрачається в навколишнє середовище. Рівняння, яке може бути застосовано для розрахунку багатьох існуючих конструкцій плоского колектора, має вигляд:

$$Q = F_R \cdot A \cdot [I(\tau \cdot \alpha) - U_L \cdot (T_i - T_0)] \quad (2.9)$$

де Q – корисна енергія, що відводиться з колектора в одиницю часу, Вт;

A – площа колектора, м^2 ;

F_R – коефіцієнт відведення тепла з колектора;

I – щільність потоку сумарної сонячної радіації в площині колектора $\text{Вт}/\text{м}^2$;

τ – пропускну здатність прозорих покриттів по відношенню до сонячного випромінювання;

α – поглинальна здатність пластини колектора по відношенню до сонячного випромінювання;

U_L – повний коефіцієнт теплових втрат колектора, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

T_i – температура рідини на вході в колектор, $^\circ\text{C}$;

T_0 – температура навколишнього середовища, $^\circ\text{C}$.

Як відомо, сонячна радіація, що падає на колектор, в будь-який момент часу складається з прямої радіації, дифузійної радіації і радіації, відбитої від землі або навколишніх предметів, кількість якої залежить від кута нахилу колектора до горизонту і характеру цих предметів.

Коли проводяться випробування колектора, щільність потоку радіації I вимірюють за допомогою піранометра, встановленого під тим же, що і колектор, кутом нахилу до горизонту. Застосовуваний при розрахунках f -метод вимагає даних про середнє місячне надходження сонячної радіації на поверхню колектора. Найчастіше в довідниках представлені дані по середнім за місяць надходженням радіації саме на горизонтальну поверхню.

Щільність потоку сонячної радіації, що поглинається пластиною колектора в певний момент часу, дорівнює добутку щільності потоку падаючої радіації I , пропускну́ї спроможності системи прозорих покриттів τ і поглинальної здатності пластини колектора α . Обидві останні величини залежать від матеріалу і кута падіння сонячного випромінювання, тобто кута між нормаллю до поверхні і напрямком сонячних променів. Пряма, дифузна і відображена складові сонячної радіації надходять на поверхню колектора під різними кутами. Тому оптичні характеристики α і τ повинні розраховуватися з урахуванням вкладу кожного з компонентів.

Колектор втрачає тепло різними способами. Втрати тепла від пластини до прозорих покриттів і від верхнього покриття до зовнішнього повітря відбуваються шляхом випромінювання і конвекції, але співвідношення цих втрат в першому і другому випадках не однаково. Втрати тепла через ізольовані днище та бокові стінки колектора обумовлені теплопровідністю. Колектори повинні проектуватися таким чином, щоб всі теплові втрати були найменшими.

Добуток повного коефіцієнта втрат U_L і різниці температур $(T_i - T_0)$ в рівнянні (2.9) являє собою втрати тепла від пластини, що поглинає, за умови, що її температура скрізь дорівнює температурі рідини на вході. При нагріванні рідини пластина колектора має більш високу температуру, ніж температура рідини на вході. Це – необхідна умова перенесення тепла від пластини до рідини. Тому фактичні втрати тепла від колектора більше значення добутку $U_L \cdot (T_i - T_0)$. Різниця втрат враховується за допомогою коефіцієнта відведення тепла F_R .

Повний коефіцієнт втрат U_L дорівнює сумі коефіцієнтів втрат через прозору ізоляцію, днище та бокові стінки колектора. Для добре спроектованого колектора сума останніх двох коефіцієнтів зазвичай становить близько 0,5–0,75 Вт/(м²·°С). Коефіцієнт втрат через прозору ізоляцію залежить від температури поглинаючої пластини, кількості і матеріалу прозорих покриттів, ступеня чорноти пластини в інфрачервоній частині спектра, температури навколишнього середовища і швидкості вітру.

Рівняння (2.9) зручно використовувати для розрахунку сонячних енергети-

чних систем, оскільки корисна енергія колектора визначається температурою рідини на вході. Однак втрати тепла в навколишнє середовище залежать від середньої температури поглинаючої пластини, яка завжди вища за температуру на вході, якщо рідина нагрівається, проходячи через колектор. Коефіцієнт відводу тепла F_R дорівнює відношенню фактичної корисної енергії, коли температура рідини в колекторі збільшується в напрямку потоку, до корисної енергії, коли температура всієї поглинаючої пластини дорівнює температурі рідини на вході.

Коефіцієнт F_R залежить від витрати рідини через колектор і конструкції поглинаючої пластини (товщини, властивостей матеріалу, відстані між трубами і т. і.) і майже не залежить від інтенсивності сонячної радіації і температур поглинаючої пластини і навколишнього середовища.

2.2.2 Тепловий розрахунок системи сонячного теплопостачання

Енергетичний баланс системи сонячного теплопостачання за аналізований період часу (за місяць) можна представити у вигляді:

$$Q_{СК}^{пер} - Q_{оп+ГВП}^{пер} + Q_{ДЖ}^{пер} = \Delta Q_{БА}^{пер}, \quad (2.10)$$

де $Q_{СК}^{пер}$ – теплопродуктивність сонячної установки за аналізований період;

$Q_{оп+ГВП}^{пер}$ – сума навантажень опалення та гарячого водопостачання за аналізований період (місяць);

$Q_{ДЖ}^{пер}$ – загальна кількість енергії отримана протягом аналізованого періоду від дублюючого джерела;

$\Delta Q_{БА}^{пер}$ – зміна кількості енергії в акумулюючій установці за аналізований період.

При розмірах акумуляторів, які звичайно застосовують в системах сонячного теплопостачання, різниця $\Delta Q_{БА}^{пер}$ мала в порівнянні з $Q_{СК}^{пер}$, $Q_{оп+ГВП}^{пер}$ та $Q_{ДЖ}^{пер}$, відповідно, нею можна знехтувати. Рівняння (2.9) може бути перетворено

$$f = \frac{Q_{оп+ГВП}^{пер} - Q_{ДЖ}^{пер}}{Q_{оп+ГВП}^{пер}} = \frac{Q_{СК}^{пер}}{Q_{оп+ГВП}^{пер}}, \quad (2.11)$$

де f – частка повного місячного теплового навантаження, що забезпечується за рахунок сонячної енергії.

Безпосередньо рівняння (2.11) не можна використовувати для розрахунку f , оскільки $Q_{СК}^{пер}$ є складною функцією падаючого випромінювання, температури навколишнього середовища і теплових навантажень. Однак розгляд пара-

метрів, від яких залежить Q_{CK}^{nep} , дозволяє припустити, що коефіцієнт заміщення f емпірично можна пов'язати з двома безрозмірними комплексами

$$X = \frac{A \cdot F_R' \cdot U_L \cdot (T_{ref} - \bar{T}_0) \cdot t}{Q_{om+ГВС}^{місяць}}; \quad (2.12)$$

$$Y = \frac{A \cdot F_R' \cdot (\bar{\tau} \cdot \bar{\alpha}) \cdot \bar{I} \cdot N}{Q_{om+ГВП}^{місяць}}, \quad (2.13)$$

де A – площа сонячного колектора, m^2 ;

F_R' – ефективний коефіцієнт відводу тепла, що враховує вплив теплообмінника;

U_L – повний коефіцієнт теплових втрат колектора, $Вт / (m^2 \cdot ^\circ C)$;

t – тривалість місяця, $с$;

T_{ref} – базисна температура, дорівнює $100^\circ C$;

\bar{T}_0 – середньомісячна температура зовнішнього повітря, $^\circ C$;

$Q_{om+ГВП}^{nep}$ – повна теплове навантаження за аналізований період (місяць), $Дж$;

\bar{I} – середньомісячне надходження сумарної сонячної радіації на похилу поверхню колектора, $Дж / m^2$;

N – кількість днів за аналізований періоду (місяця),

$\bar{\tau} \cdot \bar{\alpha}$ – приведена поглинальна здатність за аналізований період, тобто середньомісячна),

α – поглинальна здатність панелі колектора;

τ – пропускна здатність прозорої ізоляції.

Безрозмірні комплекси X і Y мають певний фізичний зміст. Так, Y може трактуватися як відношення кількості енергії, що поглинається пластиною колектора за аналізований період (місяць), до повного теплового навантаження за той же час. Комплекс X може трактуватися як відношення теплових втрат колектора за аналізований період (місяць) при базовій температурі до повного теплового навантаження за той же час.

Тобто, частка повного теплового навантаження за місяць, що забезпечується за рахунок сонячної енергії, f – є функцією безрозмірних комплексів X і Y , які визначаються виразами (2.12) і (2.13). Ці комплекси повинні розраховуватися для року (по кожному місяцю) при кожному заданому значенні площі колектора. Рівняння (2.10) можна переписати у вигляді

$$\frac{X}{A} = F_R \cdot U_L \cdot \frac{F_R'}{F_R} \cdot (100 - \bar{T}_0) \cdot \frac{t}{Q_{om+ГВП}^{nep}}. \quad (2.14)$$

Для обраного типу сонячного колектора добуток $F_R \cdot U_L$ може бути визначений за графіком залежності $\eta([T_i - T_0]/I)$, який будуватиметься за результатами випробувань. Величина $F_R \cdot U_L$ дорівнює від'ємному значенню кутового коефіцієнта даної прямої.

У районах, де можливе замерзання рідини в колекторі, сонячні установки часто виконуються з проміжним теплообмінником, що розділяє колектор і бак-акумулятор. При цьому в контурі колектора використовують розчин антифризу, а в контурі акумулятора – воду. Відношення F'_R / F_R називають поправочним коефіцієнтом, що враховує вплив теплообмінника. Цей коефіцієнт, значення якого змінюються від 0 до 1, характеризує зменшення корисної енергії колектора внаслідок застосування двоконтурної схеми відведення тепла з проміжним теплообмінником і визначається за формулою

$$\frac{F'_R}{F_R} = \frac{1}{1 + \frac{F_R \cdot U_L \cdot A}{G^A \cdot c_p^A} \left(\frac{G^A \cdot c_p^A}{C_{\min} \cdot \varepsilon} - 1 \right)}, \quad (2.15)$$

де A – площа сонячного колектора (розрахунок ведеться на 1 м^2);

G^A – масова витрата антифризу в контурі СК;

c_p^A – теплоємність розчину антифризу;

ε – ефективність теплообмінника;

C_{\min} – менший з двох водяних еквівалентів в теплообміннику.

Водяним еквівалентом називається добуток масової втрати рідини та її теплоємності – $C_{\min} = G \cdot c_p$.

У разі, якщо масові витрати через теплообмінник однакові, тоді C_{\min} відноситься до потоку рідини в контурі колектора, оскільки теплоємність розчину антифризу менше теплоємності чистої води. Виходячи з цього вираз (2.14) може прийняти вигляд

$$\frac{F'_R}{F_R} = \frac{1}{1 + \frac{F_R \cdot U_L \cdot A}{G^A \cdot c_p^A} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)}. \quad (2.16)$$

Розрахунок відношення X/A виконується для кожного розглянутого періоду (місяця) року.

Рівняння (2.12) може бути записано наступним чином:

$$\frac{Y}{A} = F_R (\tau \alpha)_n \cdot \frac{F'_R}{F_R} \left[\frac{(\overline{\tau \alpha})}{(\tau \alpha)_n} \right] \cdot N \cdot \frac{\bar{I}}{Q_{от+ГВП}^{nep}}. \quad (2.17)$$

Для обраного типу сонячного колектора добуток $F_R \cdot (\tau\alpha)_n$ можна визначити за графіком залежності $\eta([T_i - T_0]/I)$. Величина $F_R(\tau\alpha)_n$ дорівнює ординаті точки перетину прямої з вертикальною віссю.

Пропускна здатність системи прозорих покриттів τ і поглинальна здатність пластини α залежать від кута падіння сонячної радіації на поверхню колектора. Залежно від орієнтації колектора і пори року середньомісячні значення пропускної і поглинальної здатності можуть бути менше, ніж при нормальному падінні випромінювання. Спрощений метод визначення середньомісячних значень приведеної поглинальної здатності $(\bar{\tau} \cdot \bar{\alpha})$, який може бути використаний у багатьох випадках, полягає в наступному. Коли кут нахилу колектора до горизонту знаходиться в межах від $(\beta - 15^\circ)$ до $(\beta + 15^\circ)$, де β – широта місцевості, а його орієнтація відрізняється від південної не більше ніж на 15° , відношення $\frac{(\bar{\tau} \cdot \bar{\alpha})}{(\tau \cdot \alpha)_n}$ для всіх місяців опалювального періоду приймається рівним 0,96 для колектора з одинарним склінням і 0,94 для колектора з подвійним склінням.

Середньомісячний денний прихід сонячної радіації на похилу поверхню сонячного колектора можна визначити за допомогою співвідношень

$$\bar{I} = I_S + I_D, \quad (2.18)$$

де I_S , I_D – відповідно інтенсивність прямої складової і розсіяної складової сонячного випромінювання на похилу поверхню.

$$I_S = I_M \cdot \cos \zeta = I_M \cdot (\cos(\beta - \varphi) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\beta - \varphi) \cdot \sin \delta), \quad (2.19)$$

де I_M – інтенсивність прямої складової сонячної радіації на нормально орієнтовану до променю поверхню;

ζ – кут між напрямком на сонце і нормаллю до похилої поверхні (кут падіння на похилу поверхню), що орієнтована на південь чи південний схід;

β – широта місцевості;

φ – кут нахилу сонячного колектора до горизонту, приймається рівним широті місцевості;

δ – кут схиляння, тобто кутове положення Сонця в сонячний полудень щодо площині екватора;

ω – годинний кут руху сонця.

Значення кута сонячного відмінювання визначається за формулою Купера:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin \left[360^\circ \cdot \frac{284 + n}{365} \right], \quad (2.20)$$

де n – порядковий номер дня року, відлік, якого ведеться з 1 січня (береться 15 число кожного місяця).

Часовий кут руху сонця в певній точці в певний момент часу розраховується за формулою

$$\omega = 15^\circ \cdot (t - t_{cc}) + (\psi - \psi_{зонаі}), \quad (2.21)$$

де t – фактичний місцевий декретний час (розрахунок ведеться для сонячного півдня),

t_{cc} – декретний сонячний полудень даного часового поясу,

ψ – фактична довгота точки,

$\psi_{зонаі}$ – середня довгота даного часового поясу (для даного регіону).

Оптимальний кут нахилу колектора в залежності від пори року схематично зображений на рисунку 2.8.

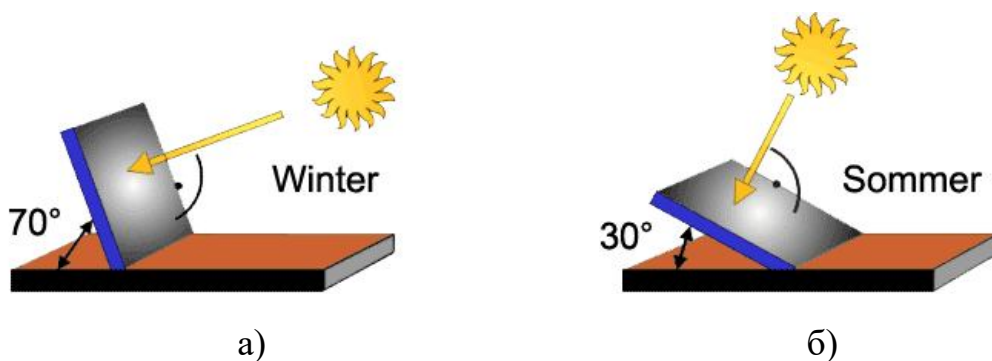


Рисунок 2.8 – Оптимальний кут нахилу:
а – взимку; б – влітку

З рисунку бачимо, що оптимальний кут нахилу колектора складає від 30° до 45° . Для установок з підтримкою опалювання рекомендується крутіший кут нахилу (від 45° до 60°), за рахунок чого в перехідний сезон при нижчому положенні сонця може бути досягнута краща інсоляція колектора.

Інтенсивність розсіяного випромінювання на похилу поверхню сонячного колектора залежить тільки від того, яку частину небосхилу «бачить» приймач, якщо розподіл розсіяного сонячного випромінювання на небосхилі рівномірний (яскравість неба, за винятком Сонця, однакова), в тому числі, коли небо вкрите хмарами, суцільним туманним серпанком. Тому розсіяна складова випромінювання розраховувалася за формулою:

$$I_D = I_{D\text{MAX}} \cdot \frac{1 + \cos \varphi}{2}, \quad (2.22)$$

де $I_{D\text{MAX}}$ – розсіяна радіація.

За результатами розрахунків за формулами (2.18)-(2.22) будується діаграма залежності \bar{I} (місяць).

Для кожного місяця року проводиться розрахунок відносини Y/A . Помноживши X/A і Y/A на площу колектора, можна отримати значення X і Y . Значення цих комплексів визначаються для різних площ колектора і всіх місяців року.

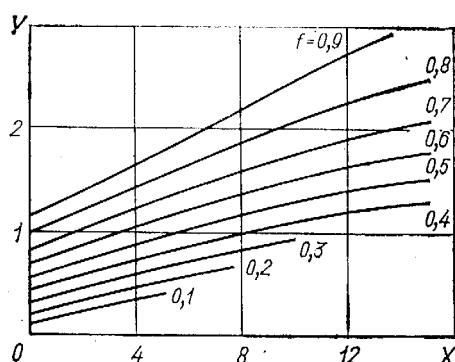


Рисунок 2.9 – f -графіки для системи з рідинним теплоносієм

Частка місячного навантаження f , яка забезпечується за рахунок сонячної енергії визначається за графіками рисунку 2.9 або за допомогою рівняння:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3, \quad (2.23)$$

де $0 < Y < 3$ та $0 < X < 18$.

Місячна кількість тепла, що забезпечується сонячним теплопостачанням, можна визначити множенням f на повне місячне опалювальне навантаження $Q_{от+ГВП}^{пер}$.

Міра використання системи сонячних колекторів і навантаження на колектор

Міра використання системи сонячних колекторів – відношення кількості теплової сонячної енергії, що передана системі теплопостачання, до кількості енергії сонячного випромінювання на поверхню колекторів. При збільшенні міри покриття енерговитрат знижується міра використання системи.

Міра використання системи сонячних колекторів для ГВП для будинків на одну–дві сім'ї зазвичай складає 30–45% виходячи з міри покриття енерговитрат 60 %. Це означає, що при інтенсивності випромінювання $1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в рік корисним чином можуть бути використані близько $300\text{--}400 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в рік. Установки попереднього нагріву можуть при цьому забезпечити використання до $600 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в рік. При сонячній підтримці опалювання і ГВП звичайно використовуються системи з мірою покриття загальних енерговитрат на ГВП та опалювання 10–30 %. Міра покриття сильно залежить від загальної потреби в теплі. Для добре теплоізованих будівель і великих буферних накопичувачів вона може складати значно більше 30 %.

При проектуванні великих установок використовується поняття навантаження на колектор – це витрата ГВП в день приведена до 1 м² колектора. Для малих установок навантаження складає 30–40 л ГВП на м² колектора на добу, для великих – близько 70 л ГВП на м² колектора на добу.

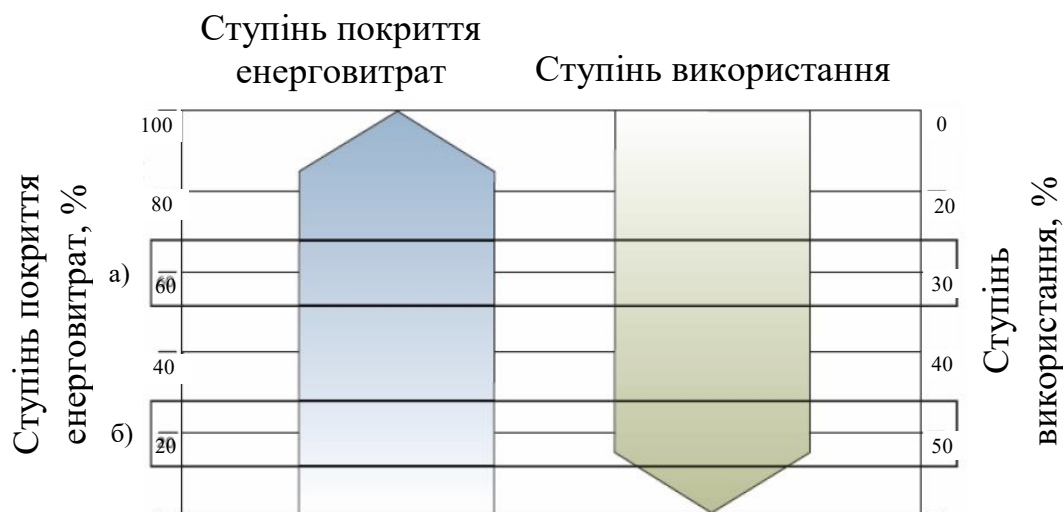


Рисунок 2.10 – Ступінь покриття та використання системи сонячних колекторів:

а – типовий будинок на одну/дві сім'ї; б – установка попереднього підігріву

2.2.2 Розрахунок системи гарячого водопостачання за рахунок геліоколекторних установок

При споживанні гарячої води від геліоустановки з плоскими сонячними колекторами, яка використовується тільки для гарячого водопостачання (ГВП), за рік ефективно використовується 30–45 % енергії, що випромінюється сонцем. При застосуванні вакуумних трубчастих колекторів ефективне використання сонячного випромінювання за рік підвищується до 40–50 %.

В літній період можливо покрити 100 % потреб в гарячій воді, за рік в середньому покриття річної потреби в гарячій воді за рахунок сонячних колекторів може сягати 60 %.

Для заданої кількості гарячої води можна обчислити необхідну площу колекторів за формулою:

$$A = \frac{1,16 \cdot G \cdot (t_{w2} - t_{w1})}{\eta \cdot \sum g_i}, \quad (2.24)$$

де G – маса води (кг), нагрітої від температури t_{w1} до температури t_{w2} , °C;

$\sum g_i$ – сумарна сонячна енергія, прийнята за день 1 м² сонячного колектора, (Вт·год)/м²;

η – ККД колектора.

ККД колектора може бути розрахований за такою формулою:

$$\eta = 0,86 \cdot \left(\eta_0 - \frac{9 \cdot U \cdot (t_1 + t_2 / 2 - t_e)}{\sum g_i} \right), \quad (2.25)$$

де U – коефіцієнт втрат за паспортними даними (Вт / (м²·°C));

t_1 і t_2 – температура теплоносія на вході і на виході сонячного колектора;

t_e – температура навколишнього середовища, °C

Площа сонцепоглиняючої поверхні колекторів A (м²) установки без дублерів, визначається за формулою

$$A = \frac{G}{\eta \cdot \sum g_i}, \quad (2.26)$$

де G – добова витрата гарячої води у системі гарячого водопостачання, кг;

g_i – годинна продуктивність установки, віднесена до 1 м² поверхні сонячного колектора, кг / м²;

i – розрахункові години роботи установки;

η – ККД колектора.

При нерівномірному споживанні гарячої води по місяцях в установках без дублерів розрахунок площі сонячних колекторів слід виконувати за величиною добової витрати гарячої води кожного місяця і приймати найбільшу з отриманих площ.

Годинна продуктивність установки визначається за формулою

$$g_i = \frac{0,86 \cdot U}{\ln \frac{t_{\max i} - t_1}{t_{\max i} - t_2}}, \quad (2.27)$$

де U – наведений коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора, Вт/(м²·°C), в разі відсутності паспортних даних може бути прийнятий 8 Вт/(м²·°C) для колекторів з одним склом і 5 Вт/(м²·°C) – для колекторів з двома скельцями;

t_1 і t_2 – температура теплоносія на вході і на виході сонячного колектора.

Температура на виході визначається за формулою

$$t_2 = t_{w2} + 5 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.28)$$

де t_{w2} – необхідна температура гарячої води.

Температура на вході визначається за формулою

$$t_1 = t_{w1} + 5 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.29)$$

де t_{w2} – температура холодної води.

В одноконтурних системах – $t_1 = t_{w1}$ і $t_2 = t_{w2}$.

Рівноважна температура кожної години $t_{\max i}$ визначається за формулою

$$t_{\max i} = \frac{q_{\theta i}}{U + t_{ei}}, \quad (2.30)$$

де $q_{\theta i}$ – наведена інтенсивність поглиненої сонячної радіації, Вт/м²;

t_{ei} – температура зовнішнього повітря, °С.

При відсутності в технічних характеристиках сонячних колекторів величини сонцепоглинаючої поверхні її слід приймати в межах від 0,90 до 0,95 габаритної площі колектора.

Площу сонцепоглинаючої поверхні колекторів установок з природною циркуляцією теплоносія слід визначати за формулою (2.26), а годинну продуктивність установки g (кг/м²), за формулою

$$g_i = \frac{0,86 \cdot (q_{\theta i} - U \cdot (t_{li} - t_{ei}))}{1 + \frac{5 \cdot U}{q_{\theta i} - U \cdot (t_{li} - t_{ei})}}, \quad (2.31)$$

В установках, які мають один контур, температура на вході t (°С), визначається за формулою

$$t_{li} = t_{li-1} + 10^{-2} \cdot g_i \cdot V, \quad (2.32)$$

де V – питомий об'єм бака-акумулятора (обсяг бака на 1 м² площі сонячного колектора), приймається рівним 0,06 для II, 0,07 – для III і 0,08 м³/м² – для IV кліматичного району.

В установках, які мають два контури, температура води на вході приймається на 5°С вище, визначеної за формулою (2.32).

У першу годину роботи установки температура на вході приймається рівною температурі води в баку-акумуляторі. При відхиленні сонячних колекторів від південної орієнтації до 15° кількість поглиненої радіації знижується на 5%, при відхиленні до 30° – на 10%.

Площа сонцепоглинаючої поверхні установок з дублером визначається за формулою:

$$A = \frac{1,16 \cdot G \cdot (t_{w2} - t_{w1})}{\eta \cdot \sum g_i}, \quad (2.33)$$

де g_i – інтенсивність падаючої сонячної радіації в площині колектора, Вт / м², визначається в інтервалі від 8 до 17 год. для сонячних колекторів південної орієнтації (при відхиленні від півдня на схід або захід на кожні 15° інтервал часу починається раніше або пізніше на 1 год);

η – ККД установки сонячного гарячого водопостачання.

Коефіцієнт корисної дії установки визначається за формулою

$$\eta = 0,8 \cdot \left(\theta - \frac{9 \cdot U - 0,5 \cdot (t_1 - t_2) - t_e}{\sum g_i} \right), \quad (2.34)$$

де θ – наведена оптична характеристика колектора, при відсутності паспортних даних може бути прийнята рівною 0,73 для односкляних колекторів і 0,63 – для двоскляних;

t_e – середня денна температура повітря, °С.

Якщо максимальна годинна теплопродуктивність установки сонячного гарячого водопостачання з примусовою циркуляцією більше потрібної за графіком водорозбору, то в установках необхідно влаштовувати баки акумулятори. Обсяг бака-акумулятора V (м³), повинен визначатися за добовими графіками підігріву води в установці і водоспоживання, а при їх відсутності в залежності від кліматичного району за формулою $V = (0,06-0,08) \cdot A$ та приймається більшою ніж значення для IV кліматичного району.

При змінній витраті теплоносія в контурі теплоприймача і контурі води, що нагрівається підбір насосів проводиться по максимальній величині витрати.

При проектуванні установок зі змінною витратою теплоносія розрахунок теплообмінників слід здійснювати по середньому за годину значенню витрат води та теплоносія.

Розрахунок економії палива B за рахунок використання сонячної енергії, слід проводити за формулою

$$B = \frac{Q}{\eta_{nom}}, \quad (2.35)$$

де Q – сумарна кількість теплоти, ГДж/рік, що вироблена установкою сонячного гарячого водопостачання за сезон (рік);

η_{nom} – ККД джерела теплоти, який заміщає.

На практиці зазвичай для визначення необхідної площі сонячних колекторів для потреб гарячого водопостачання використовують два основні методи: емпіричний метод та розрахунковий [8].

Емпіричний метод заснований на наступних співвідношеннях: у географічних широтах центральної України для покриття потреби в гарячій воді приватного житлового будинку з розрахунку 50% покриття, площа сонячних колекторів на 1 мешканця повинна складати:

- 1,0–1,5 м² у разі використання плоских колекторів;
- близько 0,8 м² у разі використання вакуумних трубчастих колекторів.

Не дивлячись на умовність такого методу, він достатньо адекватний. Річ у

тому, що необхідна площа сонячних колекторів для житлового будинку з 3–4 мешканцями невелика (в середньому, до 5 м²) і, зрештою, підбір все одно здійснюється з готових колекторів. Оскільки мінімальна площа колекторів – близько 2 м², все одно мова не йде про точний підбір в повній відповідності з розрахунковими даними. До того ж, продуктивність сонячного конвектора – величина непостійна і залежить від великого числа сезонних, кліматичних і таких, що важко піддаються обліку чинників (наприклад, зовнішні або внутрішні забруднення). Навіть для розрахункових методів, в більшості випадків, прийнятними вважаються відхилення до 20 % від розрахункових даних.

При розрахунковому методі визначається необхідна кількість тепла на потреби ГВП по відомій формулі:

$$Q_n = m \cdot c \cdot t \quad (2.36)$$

де Q_n – необхідна кількість тепла на потреби ГВП, кВт;

m – необхідна кількість гарячої води, л/добу;

c – питома теплоємність води, 4,2 кДж /кг°С;

t – різниця температур входу і виходу гарячої води, °С.

Для визначення необхідної площі сонячних колекторів зазвичай використовують наступну формулу:

$$A = (K_{op} \cdot \eta_n \cdot Q) / (\eta_e \cdot Q_n) \quad (2.37)$$

де K_{op} – коефіцієнт поправки на орієнтацію колектора (табл. 2.1);

η_n – коефіцієнт покриття за рік;

η_e – коефіцієнт ефективності використання за рік;

Q – енергія сонячного випромінювання на одиницю поверхні за рік, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2}$.

Найбільш вигідною з погляду максимальної теплової енергії є орієнтація колекторів на південь під кутом 30°. І якщо відповідна установка можлива, її завжди слід дотримуватися. В тому випадку, якщо напрям на південь дотримуватися неможливо, у величину теплової потужності сонячного колектора вносять відповідні поправки залежно від величини відхилення від відповідного напрямку. Дуже часто вони використовуються одночасно і для внесення поправок на кут нахилу сонячного колектора по горизонталі. У таблиці 2.1 приведені значення відповідних поправочних коефіцієнтів, що отримані компанією Immergas [9] для сонячних колекторів власного виробництва. Як видно, таблиця дозволяє одночасно враховувати обидва чинники, з високою точністю виводячи загальний поправочний коефіцієнт.

Коефіцієнт покриття є часткою витрати енергії на потреби ГВП, що пок-

ривається за допомогою сонячних колекторів. У нашій кліматичній зоні слід прагнути до коефіцієнта покриття за рік не меншого 50 %, у літній період це дозволить покрити до 100 % необхідної витрати енергії на ГВП за день.

Таблиця 2.1 – Величини поправок на орієнтацію колектора

Орієнтація на ПІВДЕНЬ (південь = 0° схід або захід = 90°)	Кут нахилу до горизонталі						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0	0,89	0,97	1	0,99	0,93	0,83	0,69
15	0,89	0,96	1	0,98	0,93	0,83	0,69
30	0,89	0,96	0,99	0,97	0,92	0,82	0,70
45	0,89	0,94	0,97	0,95	0,90	0,81	0,70
60	0,89	0,93	0,94	0,92	0,87	0,79	0,69
75	0,89	0,91	0,91	0,88	0,83	0,76	0,66
90	0,89	0,88	0,87	0,83	0,78	0,71	0,62

Коефіцієнт ефективності використання є відношенням корисно використаної теплоти до загальної енергії сонячних променів, що падає на поверхню колектора за рік. Дана величина є емпіричною і залежить від:

- типу колектора (для плоских колекторів коефіцієнт використання значно нижче порівняно з вакуумними);
- довжини труб (чим більше, тим нижче);
- товщини ізоляції (чим менша, тим нижче);
- наявності, величини і характеру зовнішніх і внутрішніх забруднень колектора;
- кліматичних умов (співвідношення енергії прямого і розсіяного сонячного випромінювання протягом року).

Для плоских сонячних колекторів в кліматичних умовах України, з урахуванням прийнятої величини коефіцієнта покриття, даний показник можна прийняти на рівні 0,35.

Проведені дослідження дають можливість зробити висновки, що використання сонячних теплових колекторів в системі житлово-комунального господарства України, насамперед у тепловому водопостачанні та опаленні, є перспективним напрямом. При виборі сонячного колектора треба враховувати завдання, які він повинен вирішувати та наявність економічних ресурсів для його встановлення та підключення. Для систем, що потребують гарячу воду лише влітку економічно встановлювати плоскі колектори. Вони є більш дешевшими при порівнянні з вакуумними тепловими колекторами. Останні слід застосовувати у системах гарячого водопостачання та опалення, що працюють весь рік, тому що їх конструкція дозволяє виробляти теплову енергію при температурах повітря нижче 0°C.

Приклад

Жилий дім, у якому мешкає 6 людей та в якому встановлена пральна машина, що використовує теплу воду. Імовірні витрати гарячої води складають 40 л на людину. При цьому різниця температур складає $\Delta t = 50 - 15 = 35^\circ\text{C}$.

Загальна кількість води: $m = 260 \cdot 40 + 1 \cdot 20 = 260$ л.

Кількість тепла: $Q = 260 \cdot 35 \cdot 1,163 = 10,58$ кВт·год/добу.

При перерахунку на 365 діб щорічна потреба енергії на гаряче водопостачання складає 3861,7 кВт·год.

Таблиця 2.2 – Споживання гарячої води (дім на 1 чи 2 родини)

	Витрати, чол./д	Щоденні витрати енергії
Малі витрати	20-30 л гарячої води (45°C)	0,8-1,2 кВт·год/добу
Стандартні витрати	30-50 л гарячої води (45°C)	1,2-2,0 кВт·год/добу
Великі витрати	50-70 л гарячої води (45°C)	2,0-2,8 кВт·год/добу
Пральна машина чи посудомийна для посуду з теплою водою	На кожен прилад близько – 20 л на добу або згідно даних виробника	0,8 кВт·год/добу

Приклад розрахунку втрат тепла в циркуляційній лінії ГВП

Вихідні дані:

- довжина циркуляційної лінії складає 15 м;
- час роботи циркуляційного насосу по таймеру складає 8 годин;
- втрати тепла в циркуляційної лінії складають 10 Вт/м. п. (при незадовільній теплоізоляції приймають до 20 Вт/м.п.).

$Q_{\text{цир}} = 15 \cdot 8 \cdot 10 = 1200$ Вт/м (додатково треба врахувати втрати тепла від сушарок для рушників, встановлених у системі ГВП)

Примітка: основні терміни, що використані в підрозділах 2.2.2 та 2.2.3 представлені в Додатку А.

2.2.3 Розрахунок системи підтримання опалення за рахунок геліоколекторних установок

На рисунку 2.11 [1] представлена принципова схема водяної низькотемпературної системи сонячного опалювання з сонячними колекторами, в якій передбачений автоматичний дренаж колекторів при припиненні дії сонячної радіації.

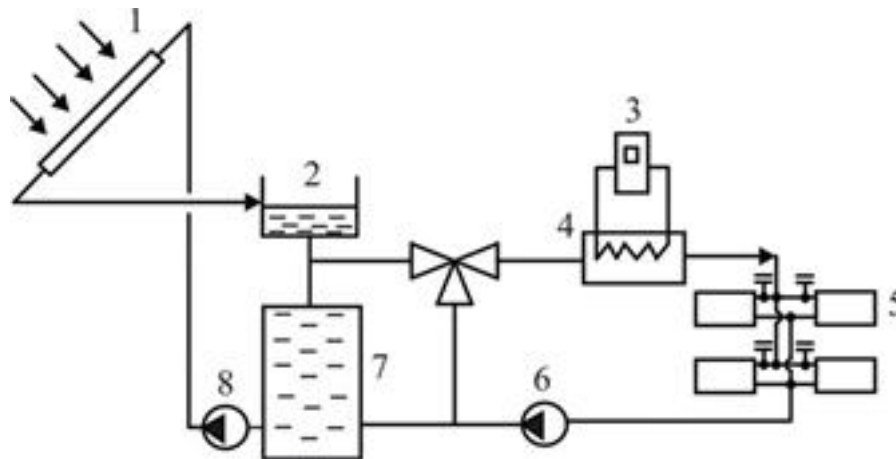


Рисунок 2.11 – Схема водяної низькотемпературної системи сонячного опалення з плоскими колекторами та їх автоматичним дренажем при припиненні циркуляції:

- 1 – сонячні плоскі колектори; 2 – розширювальний бак; 3 – додаткове джерело тепла; 4 – теплообмінник; 5 – опалювальні прилади;
6, 8 – циркуляційні насоси; 7 – бак-теплоакумулятор

Під дією сонячної радіації колектор розігрівається до температури 70–80 °С, що перевищує температуру довкілля та веде до зростання конвективної тепловіддачі панелі в довкілля і її власного випромінювання на небосхил. Для досягнення більш високих температур теплоносія поверхню пластини покривають спектрально-селективними шарами, що активно поглинають короткохвильове випромінювання сонця і це знижують її власне теплове випромінювання в довгохвильовій частині спектру. Такі конструкції на основі «чорного нікелю», «чорного хрому», окислу міді на алюмінії, окислу міді на міді – дуже вартісні (їх вартість часто співвідноситься з вартістю самого колектора).

Досвід експлуатації сонячних установок на основі сонячних колекторів виявив ряд істотних недоліків подібних систем. Передусім це висока вартість колекторів. Збільшення ефективності їх роботи за рахунок селективних покриттів, підвищення прозорості скління, вакуумування, а також облаштування сис-

теми охолодження виявляються економічно нерентабельними. Істотним недоліком є необхідність частого очищення стекол від пилу, що практично виключає застосування колектора в промислових районах. При тривалій експлуатації сонячних колекторів, особливо в зимових умовах, спостерігається частий вихід їх з ладу через нерівномірності розширення освітлених і затемнених ділянок скла за рахунок порушення цілісності скління. Відзначається також великий відсоток виходу з ладу колекторів при транспортуванні і монтажі. Значним недоліком роботи систем з колекторами є також нерівномірність завантаження впродовж року і доби. Досвід експлуатації колекторів в умовах Європи при високій долі дифузної радіації (до 50 %) показав неможливість створення цілорічної автономної системи ГВП і опалювання.

Усі геліосистеми з сонячними колекторами в середніх широтах вимагають облаштування великих за об'ємом баків-акумуляторів і включення в систему додаткового джерела тепла, що знижує економічний ефект від їх застосування.

Підтримка опалювання від геліоустановки

При проектуванні установок підтримки опалювання для приватного будинку зазвичай виходять на рівень 10–30 % покриття річної потреби в енергії на опалювання за рахунок сонячних колекторів. Міра використання установки сягає 20–25 % також і з міркувань доцільності (витрати / користь). Орієнтовний підбір параметрів геліоустановки для підтримки опалювання для приватного будинку:

- 0,8–1,1 м² нетто плоских колекторів на кожні 10 м² житлової площі;
- 0,5–0,8 м плюс площа нетто трубчастих колекторів на кожні 10 м² житлової площі;
- 50–70 л об'єму накопичувача на 1 м² сонячного колектора.

Схема нагріву басейну від геліоустановки представлений на рисунку 2.12.

Найбільш доцільне використання нагріву басейна від геліоколекторної установки в районах з високою середньою інтенсивністю сонячної радіації (не нижче 300 Вт/м²).

Для басейнів з укриттям загальна площа абсорбера дорівнює 0,5–0,7 кратній площі басейну. Для басейнів з укриттям загальна площа абсорбера складає від 0,7 до 1,0 площі басейну. Для критих плавальних басейнів можливе досягнення покриття потреби в теплі до 100 % в літні місяці та до 65 % покриття за рік.

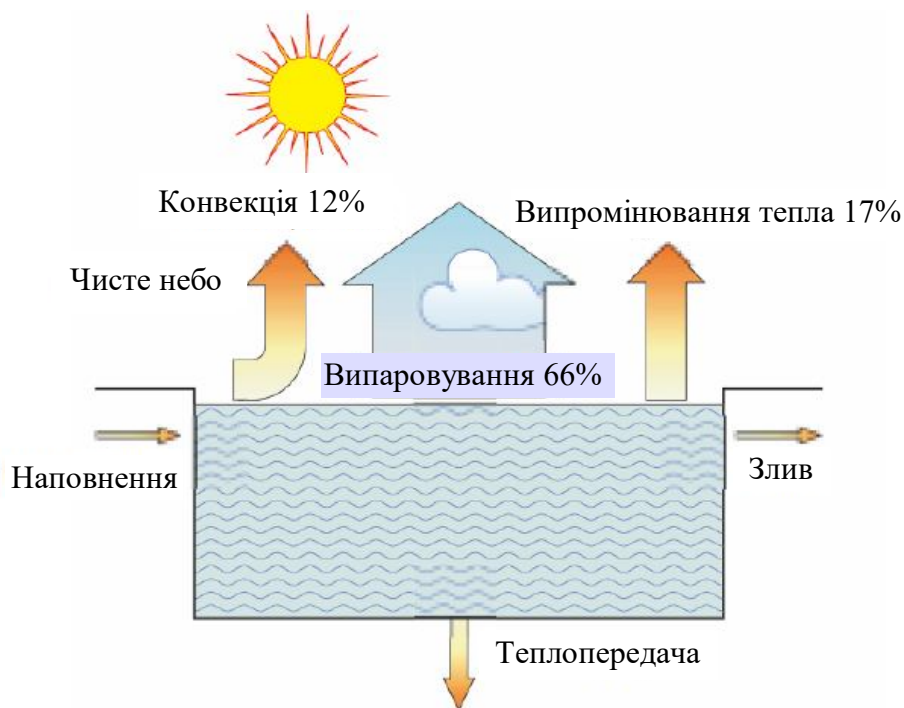


Рисунок 2.12 – Схема нагріву басейна від геліоустановки

Таблиця 2.3 – Чинники, що враховуються при проектуванні системи сонячних колекторів для плавальних басейнів

Фактори, що впливають на розміри колекторного поля	<ul style="list-style-type: none"> – тільки підігрів води; – комбінована система сонячних колекторів для підігріву води в плавальному басейні і приготування гарячої води; – комбінована схема з підтримкою опалювальної системи
Місце розташування	Дах від негоди, захист від вітру
Тип плавального басейну	Відкритий або закритий плавальний басейн
Параметри плавального басейну	Габарити: площа, глибина
Звички користувачів	Відвідуваність, час зняття укриття, подача свіжої води в басейн, задана температура і допустима максимальна температура
Характеристика системи сонячних колекторів	Вибір конструкції колектора, орієнтація і кут нахилу, необхідна потужність теплообмінників і т.п.

РОЗДІЛ 3 СОНЯЧНІ ТЕЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Принцип роботи сонячних теплових електростанцій.

Класифікація сонячних теплових електростанцій

Сонячна енергія може бути перетворена в електричну двома основними шляхами: термодинамічним і фотоелектричним.

При термодинамічному методі електричну енергію за рахунок використання сонячної енергії можна отримати використанням традиційних схем в теплових установках, в яких теплота від згоряння палива замінюється потоком концентрованого сонячного випромінювання. Принципова схема отримання електричної енергії в сонячній теплоелектростанції наведена на рисунку 3.1 [10].

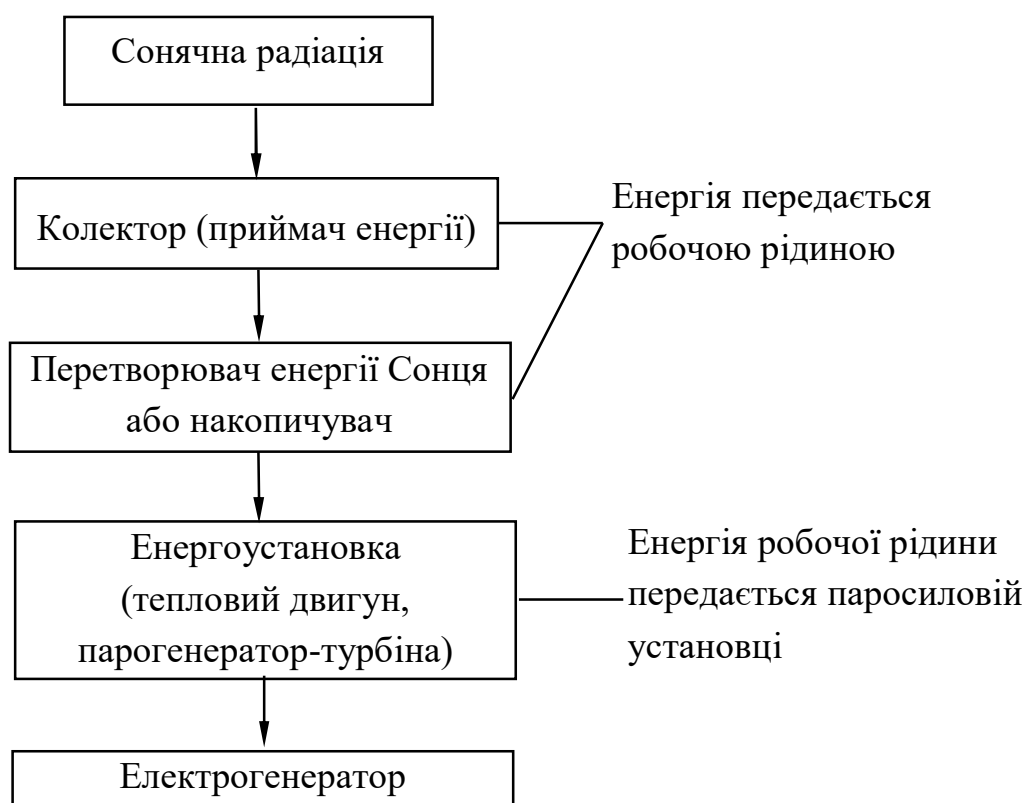


Рисунок 3.1 – Принципова блок-схема сонячної теплоелектростанції

В основу роботи сонячних теплових електростанцій (СЕС) покладено принцип концентрації енергії сонячних променів на наповненому теплоносієм теплоприймачі, і перетворення її в теплову енергію. Температура теплоносія може становити від 200 °С до 1 000 °С та залежить від конструктивних особливостей СЕС. Теплова енергія, як і в звичайних ТЕС, перетворюється в електричну за допомогою газової або парової турбіни.

Розглянемо з фізичної точки зору сутність процесів перетворення, що відбуваються на термодинамічних СЕС.

Процес отримання електроенергії з сонячної енергії відбувається в два етапи. Перший етап – це фототермічне перетворення. Відбувається поглинання сонячного випромінювання в колекторі, а згодом нагрів теплоносія або робочого тіла. Він протікає безпосередньо в колекторі або в теплообміннику, передбаченому конструкцією СЕС. В якості теплоносія використовується водяна пара або пари органічних речовин (наприклад, фреон). Потім пара подається на парогенератор-турбіну (тепловий двигун), який приводиться в рух розігрітим робочим тілом. Подальший процес отримання електроенергії схожий з іншими тепловими електростанціями (ТЕЦ). На практиці використовують дві принципово різні схеми теплових СЕС.

Перша схема передбачає використання двоконтурного компонування. У першому контурі відбувається нагрів теплоносія в теплообміннику (колекторі), який потрапляє в акумулюючу систему. Теплоносій першого контуру в акумулюючому середовищі («буфер» в системі теплоприймач/нагрівач робочого тіла) виконує роль джерела тепла для другого (робочого) контуру, робоче тіло якого обертає турбіни теплового двигуна.

Друга схема теплової СЕС – одноконтурна. Контур теплоносія виконує функції робочого контуру. У сонячному теплоприймачі відбувається нагрів робочого тіла. Теплоносій частково потрапляє безпосередньо на вхід теплового двигуна, частково – в акумулятор (якщо передбачено конструкцією).

Всі існуючі термодинамічні СЕС для досягнення високих температур теплоносіїв використовують концентратори, які відображають сонячні випромінювання з великою дзеркальної поверхні на меншу поверхню колектора (приймача).

Основні елементи теплових СЕС (рис. 3.2 – [1]):

- концентратор;
- колектор;
- тепловий акумулятор (ТА) ;
- система передачі енергії;
- система стеження за сонцем (трекер).

За уловлювання та відображення сонячних променів відповідає сонячний концентратор, а за перетворення енергії сонця в теплову – колектор (приймач). У якості концентраторів на практиці раніше використовували різні оптичні елементи – дзеркала, світловоди, лінзи. В процесі експлуатації з'ясували, що при високому рівні потужності випромінювання, що концентрується, доцільно в ролі концентратора застосовувати тільки дзеркальні відбивачі. Основний параметр концентраторів сонячного випромінювання – коефіцієнт концентрації. Він відображає відношення середньої щільності сконцентрованого випроміню-

вання до щільності променевого потоку, який потрапляє на поверхню, що відбиває (за умови точного орієнтування на Сонце).

Акумулятори теплоти і система автоматичного спостереження за Сонцем – елементи теплової СЕС, що збільшують ефективність роботи всієї системи.

Концентратори так влаштовані, що можуть фокусувати виключно пряме сонячне випромінювання. Істотно знижує ефективність хмарна і туманна погода. Кращі показники ККД мають СЕС в місцевості з високим рівнем інсоляції. Прикладом такого регіону служать екваторіальні або пустельні райони. Щоб краще використовувати сонячне випромінювання, необхідно забезпечити орієнтацію сонячних концентраторів в напрямку Сонця. Для реалізації цього технологічного завдання на практиці концентратори оснащують спеціальними системами стеження – трекерами. Вони повертають відбивач концентратора згідно закладеному в контролері алгоритму. Системи стеження поділяють на одновісні і двовісні. Двовісні мають два приводи, один з них розгортає концентратор в горизонтальній площині, а другий – у вертикальній. Одноосьова система повертає концентратор тільки із заходу на схід.

Головний недолік, який притаманний усім сонячним установкам і СЕС – періодичність роботи, пов'язана з відсутністю сонячного випромінювання (через погоду, певний час дня, пору року). Конструктивно вирішити цю проблему допомагає установка додаткових концентраторів. Отримана рано вранці, або в години низького споживання електроенергії, енергія може накопичуватися в спеціальних акумуляторах. Запасена в ТА енергія використовується для отримання електроенергії при пікових навантаженнях і в години, коли припиняється надходження тепла від концентраторів. Можливість накопичувати та зберігати теплову енергію вночі або в сутінки – перевага теплової СЕС над електростанціями, на яких застосований фотоелектричний метод перетворення енергії.

Як показує досвід, доукомплектування теплових СЕС тепловими акумуляторами, заснованими на використанні розплавленої солі (речовина, що акумулює тепло), значно підвищує коефіцієнт встановленої потужності електростанції, тобто кількість електроенергії, яку виробила тепла СЕС за один рік. Наявність ТА також збільшує маневреність і надійність СЕС, поліпшує економічні показники.

Для поступового впровадження теплових СЕС, а також для усунення їх недоліку (залежність вироблення електроенергії від Сонця) впроваджують гібридизацію електростанцій. Гібридизація електростанцій – це використання для виробництва електрики на одній електростанції декількох джерел енергії (наприклад, енергії Сонця і вітру, Сонця і Землі і т. П.). Так, наприклад, в США

теплові СЕС інтегрують до складу інфраструктури існуючих ТЕЦ. Для виробництва електроенергії використовується одна турбіна-генератор. Нерівномірність вихідної потужності теплової СЕС компенсується спалюванням газу.

Завдяки тепловим СЕС друге життя отримали двигуни Стірлінга, розроблені в далекому 1816 році. На модульних СЕС його застосовують в якості приймача електроенергії в фокусі дзеркал (замість ємності з робочим тілом)

Існує два різних принципи концентрації сонячного випромінювання на теплових СЕС:

- застосування великої кількості геліостатів-концентраторів, які відображають сонячне випромінювання на центральну вежу з приймачем (баштовий тип СЕС – рис. 3.2);

- застосування значної кількості розосереджених на великій території концентраторів, на кожному з яких розташований свій колектор, так званий модульний тип СЕС.

СЕС баштового типу – це ціле «поле» концентраторів і один приймач сонячної енергії, який розташований нагорі вежі. Висота вежі може досягати 150 метрів. На її верхній позначці встановлений резервуар, виготовлений з жароміцного металу, з теплоносієм. Нагрітий теплоносій через систему насосів (і можливо через ТА) потрапляє на турбіни. Тобто станції баштового типу, як вже було сказано, складаються з п'яти основних елементів: оптичної системи, автоматичної системи управління дзеркалами і станцією в цілому, парогенератора, башти і системи перетворення енергії, яка включає теплообмінники, акумулятори енергії і турбогенератори. Принципова схема сонячної електростанції баштового типу показана на рисунку 3.2,б.

У основу роботи баштової СЕС покладений принцип концентрації сонячної енергії, що падає на дзеркала, зібраної з великих площ за допомогою плоских дзеркальних геліостатів. Таким чином, СЕС з центральним приймачем сонячного випромінювання є вежею з геліоприймачем і розташованими на площині геліостатами. Висококонцентроване сонячне випромінювання отримують за допомогою параболічних поверхонь. До них відносяться дзеркальні поверхні, що функціонують на основі парабол обертання (параболосферичні) або на основі парабол руху (параболоциліндричні). Звичайно у такій електростанції використовується пряме сонячне випромінювання і геліостати мають систему слідування за Сонцем, при цьому кожний з геліостатів орієнтується в просторі індивідуально.

Температура, яку можна отримати на вершині башти з допомогою дзеркальних концентраторів, складає від 300 до 1 500 °С. В одному модулі можна

отримати потужність, яка не перевищує 200 МВт, що пов'язано зі зниженням ефективності перенесення енергії від найбільш віддалених концентраторів на вершину башти.

Практика експлуатації СЕС типу башти показала їх технічну доцільність і працездатність. Проте реальна ціна СЕС цього типу із-за їх високої матеріаломісткості (металоконструкції, бетон, дзеркала) виявилася високою. Діючі СЕС типу вежі є експериментальними полігонами по впровадженню сонячних технологій. Основним недоліком таких установок є значна площа, яку вони займають. Так, для розміщення баштової електростанції потужністю 100 МВт необхідна площа 200 га. Сонячні енергетичні установки (СЕУ) башт – це установки промислової енергетики з високою вихідною потужністю. Баштові СЕС добре себе зарекомендували виключно в ролі великих, з'єднаних з електромережею електростанції потужністю 30–200 МВт.

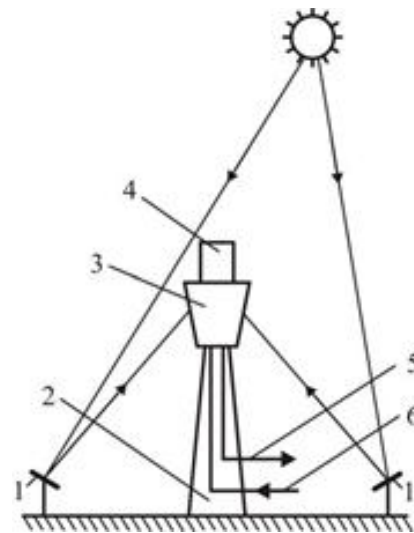
СЕС модульного типу складається з окремих модулів, об'єднаних в одну систему електростанції. Кожен модуль включає в себе параболічний (або циліндричний) концентратор і теплоприймач, який розташовують у фокусі концентратора. Зовні модуль нагадує супутникову антену. Системи тарілчастого виду завдяки модульній конструкції застосовуються і як автономні установки, і як група модулів загальною потужністю до декількох десятків мегават.

Також СЕС модульного типу поділяють на СЕС з роздільними модульними параболічними концентраторами (рис. 3.3) та СЕС з параболічними концентраторами та з тепловими приймачами у фокусі параболоїда (рис. 3.4).

Теплові сонячні електростанції завдяки гібридизації, впровадженню нових матеріалів, удосконаленню технологій та можливості акумулювати тепло стають стійким і надійним джерелом електроенергії.

Для розміщення теплових ТЕС найкраще підходять екваторіальні посушливі і пустельні території. Україна хоч і не може похвалитися подібними зонами, зате в нашій країні діє зелений тариф на електроенергію, який стимулює як внутрішніх, так і зовнішніх інвесторів вкладати гроші в розвиток цієї галузі. Перспективною для будівництва теплових СЕС є Херсонська область, оскільки володіє одним з кращих показників річної інсоляції в країні.

Структурні схеми вежі СЕС і СЕС з високою концентрацією сонячної енергії включають усі типові елементи термодинамічного циклу перетворення енергії, і усі правила технічної експлуатації теплової частини енергоустановки не відрізняються від правил експлуатації теплових електростанцій. Особливу увагу слід приділити питанням експлуатації дзеркального геліополя, трекерів системи геліостатов, сонячних веж. Надалі і будуть розглянуті ці питання.



1 – геліостати; 2 – башта; 3 – сонячний котел; 4 – теплоаккумулятор;
5 – трубопровід «гострої» пари;
6 – трубопровід живильної води

а)

б)

Рисунок 3.2 – Термодинамічні СЕС баштового типу:
а – зовнішній вигляд; б – схема термодинамічної СЕС баштового типу [1]



Рисунок 3.3 – СЕС з роздільними модульними параболічними концентраторами



Рисунок 3.4 – Дзеркальні параболічні СЕС з двигуном Стірлінга

3.2 Особливості експлуатації, монтажу та техніки безпеки

Для ефективної експлуатації сонячних енергоустановок з дзеркальними концентраторами найбільш важливим залишається питання високої відбиваючої здатності. В умовах експлуатації цього домагаються декількома методами:

- використовують для дзеркальної поверхні матеріали з високою мірою відображення в широкому спектральному діапазоні;
- забезпечують якісний захист дзеркального шару, тобто захисний шар виконують у виді пило та грязе- відразливого, що дозволяє максимально понизити витрати на експлуатацію;
- застосовують методи механізованого і автоматизованого очищення дзеркальної поверхні неущкоджуючими технологіями, тобто застосовують відмивання струменем води високого тиску без використання щіток (рис. 3.5).

Значне підвищення енерговіддачі чистої дзеркальної поверхні (до 25 %) робить доцільним проведення регламенту або введення профілактики очищення по стану.



Рисунок 3.5 – Механізоване очищення дзеркал струменем води високого тиску

Експлуатація приводів систем геліостатів

Особливу експлуатаційну групу СЕС складають трекери систем геліостатів. Як правило, трекери виконуються на основі мотор-редукторів і вимагають проведення профілактичних робіт, відповідно до правил робіт цих механізмів.

Техніка безпеки

Вказівки по техніці безпеки відносяться, передусім, до роботи із застосуванням редукторів. При використанні мотор-редукторів необхідно також дотримуватися вказівок по техніці безпеки, аналогічних при роботі з двигунами (інструкції з експлуатації двигунів).

У час і після роботи мотор-редуктори, редуктори і двигуни мають деталі під напругою, деталі, що рухаються, гарячу поверхню. Тому транспортування, підготовку до зберігання, установку та монтаж, підключення, введення в експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт повинні виконувати тільки кваліфіковані фахівці.

При цьому необхідно дотримуватися інструкції по експлуатації (електричної схеми), застережливих табличок на редукторі/мотор-редукторі, правил і вимог по виконанню робіт з цією установкою, приписів по техніці безпеки і профілактиці виробничого травматизму.

Важкі травми персоналу і значний матеріальний збиток можливі через неправильне застосування приписів, неправильний монтаж або управління; зняття необхідних захисних кришок або корпусу.

Використання за призначенням

Редуктори/мотор-редуктори призначені для роботи в промислових установках, зокрема в приводах систем геліостатів, і відповідають діючим стандартам і нормативам. Технічні дані і інформація за допустимими умовами експлуатації вказані на заводській табличці і в документації.

Механічний монтаж

Для механічного монтажу потрібні інструменти і допоміжні засоби :

- набір гайкових ключів;
- динамометричний ключ для затягування: стяжних муфт; сполучних пристроїв; кришки вхідного валу з центруючим буртом;
- монтажне пристосування;
- елементи вирівнювання(шайби, кільця розпорів);
- кріпильні деталі для передавальних елементів;
- мастило;
- засіб від самовідгвинчування, тобто для кріплення кришки вхідного валу з центруючим буртом.

Введення в експлуатацію редукторів трекерів

Для досягнення максимального ККД редукторів трекерів потрібно їх обкатка тривалістю не менше 24 годин. Оскільки передбачається робота редуктора в обох напрямках, то для кожного напрямку обертання потрібний свій період обкатки. В період обкатки редуктора момент на його вихідному валу не повинен перевищувати величину, що відповідає параметрам штатного навантаження. Обкатка редуктора трекера виконується на стендах з нормуванням навантажень і часу прироблення.

Технічний огляд і обслуговування

У технічний огляд і обслуговування входить періодичний огляд, регулювання і заміна олії (рис. 3.6–3.9).

Передбачені:

- візуальний контроль герметичності ущільнень;
- перевірка якості і рівня олії;
- перевірка, заміна гумових амортизаторів;
- заміна мастила в підшипниках кочення;
- заміна манжет зі зміщенням робочої кромки;
- відновлення або оновлення антикорозійного лако-фарбового покриття поверхні.

Перевірка рівня олії полягає в наступному:

- варто почекати, поки редуктор не охолоне (небезпека опіку);
- для редукторів з різьбовою пробкою контрольного отвору вивернути пробку контрольного отвору;
- перевірити рівень олії, при необхідності відкоригувати його;
- закрутити пробку.

Перевірка якості олії полягає в наступному:

- вимкнути і знеструмити мотор-редуктор;
- заблокувати його від неумисного включення;
- взяти пробу олії через зливний отвір;
- перевірити в'язкість олії.

Якщо при візуальному контролі виявлено сильне забруднення, рекомендується замінити олію, не чекаючи терміну придатності, вказаного в паспорті.

Заміна олії полягає в наступному:

- прогріти редуктор до робочої температури;
- вимкнути і знеструмити мотор-редуктор;
- заблокувати мотор-редуктор від неумисного включення;
- редуктор повинен залишатися теплим, оскільки недостатня плинність занадто холодної олії ускладнює його повний злив;
- підставити під зливний отвір ємність;
- вивернути пробку контрольного отвору, повітряний клапан (чи пробку отвору для видалення повітря), пробку зливного отвору;
- повністю злити олію;
- закрутити пробку;

- через отвір для видалення повітря залити нову олію тієї ж марки, причому кількість олії, що заливається, повинна відповідати монтажній позиції або даним заводської таблички;
- перевірити рівень олії через контрольний отвір;
- відкрутити повітряний клапан або пробку отвору для видалення повітря.



Рисунок 3.6 – Одноосьові екліптичні геліостати



Рисунок 3.7 – Двовісний трекер геліостату



Рисунок 3.8 – Редуктор азимутального приводу трекера геліостату



Рисунок 3.9 – Обслуговування редуктора трекера

Експлуатація башт сонячних енергоустановок

Башта – висотна інженерна споруда (ствол і фундамент), що вільно стоїть. Від перекидання при горизонтальному навантаженні у вигляді вітру вежа утримується тільки завдяки власному фундаменту і конструкції.

Специфікою проведення робіт на вежах сонячних електростанцій є роботи верхолазів, що виконується на висоті більше 5 м від поверхні землі, від перекриття або робочого настилу, над яким робляться роботи при монтажі або ремонті устаткування. При цьому основним засобом, що оберігає працівника від падіння, являється запобіжний пояс.

Для проведення таких робіт оформляється наряд-допуск – завдання на виконання робіт, оформлене на спеціальному бланку встановленої форми, яке визначає зміст, місце роботи, час її початку і закінчення, умови безпечного проведення, склад бригади і працівників, відповідальних за безпечне виконання робіт.

Відмінною особливістю проведення робіт на вежах сонячних електростанцій є планово-профілактичні роботи: технічне обслуговування, що виконується через певні тимчасові інтервали або відповідно до заздалегідь встановлених критеріїв. Мета цих робіт – своєчасне попередження відмови або погіршення якості функціонування устаткування відключенням від функціонування.

Перед виконанням робіт на вежах проводиться цільовий інструктаж, даються вказівки по безпечному виконанню конкретних видів робіт. Інструктаж повинні пройти працівники, прізвища яких внесені в наряд-допуск, особа, що видала наряд-допуск, а також члени бригади (чи виконавці).

Організація технічного контролю в період будівництва

і при прийманні до експлуатації

Структурний підрозділ, якому передається в експлуатаційно-технічне об-

слуговування вежа, повинен здійснювати технічний контроль якості робіт по спорудженню опор, що виконуються будівельно-монтажною організацією, брати участь в прийманні прихованих робіт і проміжних етапів робіт.

Завданнями технічного контролю на всіх стадіях будівництва є:

- контроль точного дотримання усіх вимог проекту, СНіП, зміни в проект можуть вноситися тільки за умови узгодження їх з автором проекту вежі і генеральним проектувальником;

- контроль своєчасного і повного оформлення виконавчої технічної документації, при здійсненні технічного контролю не допускаються відступи від проектних рішень без узгодження з проектною організацією.

Експлуатаційний персонал має бути визначений до введення об'єкту в дію. Участь експлуатаційного персоналу в остаточному прийманні конструкцій від будівельно-монтажної організації обов'язково.

Оформлення наряду-допуску

Роботи по обслуговуванню і ремонту веж повинні проводитися відповідно до інструкції. Особливо небезпечні і складні роботи, що проводяться на висоті і у важкодоступних місцях, повинні виконуватися з дотриманням спеціального порядку, в якому мають бути передбачені організаційні і технічні заходи по підготовці і безпечному виконанню цих робіт. Роботи проводяться під безпосереднім керівництвом і спостереженням відповідальної особи. При необхідності роботи можуть бути виконані із залученням спеціалізованої організації.

Усі роботи по обслуговуванню, пов'язані з підйомом на вежу, виконуються тільки по наряду-допуску, де вказується місце проведення робіт, об'єм робіт, час початку і закінчення робіт, склад бригади та особи, відповідальні за виконання робіт.

Особа, що видає наряд-допуск для роботи на вежі, має бути призначена наказом керівника сонячній електростанції. Наряд-допуск оформляється в двох екземплярах. Виправлення і перекреслювання написаного тексту не допускається. Один екземпляр наряду-допуску залишається у виробника робіт, а другий – у працівника, що допускає, з числа оперативного персоналу.

Роботи на вежі і її елементах, особливо геліокотлі, що виконуються по наряду-допуску, починаються після проведення особою, що видала наряд-допуск, цільового інструктажу виробникові робіт і членам бригади. У інструктажі даються вказівки по безпечному виконанню роботи, використанню вантажопідйомних машин і механізмів, інструментів і пристосувань. Без проведення цільового інструктажу допуск до роботи заборонений.

Виробник робіт не має права отримувати наряд-допуск і починати роботу бригади (групи), якщо характер і умови робіт, заходи безпеки не відповідають діючим правилам і інструкціям по безпеці праці або не відбиті в наряді-допуску в необхідному об'ємі.

Технічне обслуговування в період експлуатації

Технічну експлуатацію веж організовують відповідні підрозділи СЕС.

Планово-профілактичним (періодичним) технічним обслуговуванням веж займаються експлуатаційні підрозділи або підрядні організації, відповідно до галузевої «Інструкції і Положення про допуск на висотні об'єкти».

Основним завданням працівників, пов'язаних з обслуговуванням веж, є експлуатація, безаварійність і довговічність.

Состав робіт по технічному обслуговуванню веж СЕС

До складу робіт по технічному обслуговуванню веж СЕС входить:

- огляд технічного стану конструкцій;
- контроль технічного стану конструкцій;
- усунення виявлених несправностей;
- регулювання геліокотлів і елементів подання теплоносія.

Технічне обслуговування підрозділяється на:

- поточне (повсякденне);
- планово-профілактичне (періодичне).

Планово-профілактичне технічне обслуговування включає:

- ревізію (детальний огляд);
- планований поточний ремонт.

Позапланові ремонти по усуненню наслідків аварій і ушкоджень системою планово-запобіжного ремонту не передбачаються.

Поточне технічне обслуговування

Поточне технічне обслуговування на обслуговуваних об'єктах СЕС проводиться персоналом об'єкту і виконується щотижня. На об'єктах, що не обслуговується – відповідальною особою при відвідуванні об'єкту, але не рідше за один раз в шість місяців.

При поточних технічних оглядах контролюється стан частин СЕС, видимих із землі неозброєним оком або за допомогою бінокля, огляд яких не вимагає підйому на висоту, розкриття ґрунту, а також великих витрат часу.

При огляді веж звертають увагу на стан конструкцій веж, місця примикання до конструкцій технологічного устаткування, анкерних закріплень, конструкції кріплення вежі до фундаменту та наземній частині фундаментів.

Результати поточного технічного огляду і відомості про усунення несправностей записують в журнал технічних оглядів і ремонту. Журнал повинні переглядати і візувати не рідше одного разу в шість місяців особами, що безпосередньо займаються технічним обслуговуванням, не рідше одного разу на рік керівником підрозділу, що здійснює технічне обслуговування, не рідше одного разу в три роки відповідальною особою.

При виявленні дефектів, що перешкоджають безаварійній експлуатації, особа, що їх виявила, зобов'язана негайно повідомити про це керівника підрозділу, що здійснює технічне обслуговування, і відповідальну особу, для вжиття термінових заходів.

Планово-профілактичне технічне обслуговування

При планово-профілактичному технічному обслуговуванні проводиться ревізія (детальний огляд) та поточний ремонт. Планово-профілактичне обслуговування виконується згідно з річним планом-графіком технічних оглядів, ревізій і поточного ремонту. Перевірка вертикальності веж за допомогою теодоліта проводиться один раз в рік, а також після ураганів і обмерзання великої інтенсивності. Результати вимірів оформляються у вигляді протоколів.

Денна маркіровка і світлозахисне обгороджування

Денна маркіровка і світлозахисне обгороджування веж призначені для своєчасного інформування пілотів літальних апаратів про наявну перешкоду для виключення можливого зіткнення. Колібрування конструкції, склад системи світлозахисного обгороджування визначаються проектом.

Денна маркіровка повинна виразно виділятися на тлі місцевості, бути видна з боку усіх напрямів і мати два маркувальних кольори, що різко відрізняються один від одного, – червоний (помаранчевий) і білий.

Для світлового обгороджування мають бути використані загороджувальні вогні. Вежі повинні мати світлове обгороджування на самій верхній частині (точці) і нижче через кожні 45 м. Відстані між проміжними ярусами мають бути однаковими. Кількість і розташування загороджувальних вогнів на кожному ярусі має бути таким, щоб з будь-якого напрямку (під будь-яким кутом азимута) було видне не менше двох загороджувальних вогнів (рис. 3.10).

Загороджувальні вогні мають бути постійного випромінювання червоного кольору з силою світла в усіх необхідних напрямках не менше 10 Кандел. Максимальна сила світла має бути спрямована під кутом 4–15 градусів над горизонтом. Вежі СЕС захищаються вогнями білого кольору, працюючими в проблісковому режимі. Сила світла в пробліску має бути не менше 10 кандел, а часто-

та проблісків – не менше 60 в хвилину. У разі установки декількох пробліскових вогнів має бути забезпечена одночасність.



Рисунок 3.10 – Вогні захисту башти термодинамічної СЕС

Світлозахисне обгороджування необхідно включати для роботи на період темного часу доби (від заходу до сходу сонця), а також на період світлого часу доби з поганою або погіршеною видимістю (туман, дощ, снігопад, серпанок та ін.).

Зробимо деякі зауваження по темі даного розділу

1. У 70-і роки ХХ століття Радянським Союзом в Криму і Сполученими Штатами в Каліфорнії побудовані паротурбінні СЕС. Для паротурбінних СЕС характерні високі капітальні витрати, головним чином із-за високої вартості автоматизованих дзеркал-геліостатів. Вартість одного кіловата встановленої потужності баштових СЕС «Солар-1», як і для СЕС в Криму, більш ніж в 10 разів перевищує характерну для традиційних установок.

Більш економічним виявилось інше технічне рішення, реалізоване в США в 1985 році. Замість дорогих скляних дзеркал-геліостатів було використано плівку з металевим напиленням, яку натягнуто на обручі. Під плівкою створено вакуум і надано їй параболічної форми. Увігнуті дзеркала фокусують сонячне випромінювання на труби, в яких нагрівається і випаровується поживна вода паротурбінної установки. Для цієї СЕС вежа з баком-парогенератором не потрібна і вартість одного кіловата встановленої потужності знижена у порівнянні з «Солар-1» в 4 рази, а собівартість кіловат-години виробленої енергії наблизилася до характерної для вугільних станцій.

2. На СЕС «Альмерія» (Іспанія) в якості теплоносія першого контуру парогенератора на вершині сонячної вежі використовується рідкий натрій, в дру-

гому контурі – звичайна вода. У варіанті СЕС, розробленому в Німеччині, сонячні промені нагрівають до 800 °З стисле повітря, яке приводить в дію газову турбіну. Теплота відпрацьованого в газотурбінній установці повітря потім використовується в паротурбінному циклі. У результаті підвищується ККД використання теплоти сонячних променів.

3. Ряд паротурбінних СЕС різної потужності побудовані у Франції та в Італії. Розробляються проекти СЕС із замкнутими газотурбінними установками, в яких робочим тілом є гелій. Параметри гелієвого теплоносія перед турбіною: температура близько 600 °З, тиск 0,8 МПа; проектний ККД установок – близько 25 %.

4. Таким чином, сонячні теплові електростанції сьогодні – це вже не експериментальна, а звична працююча технологія. В світі вже функціонує близько 100 таких станцій і в процесі будівництва ще 50 об'єктів. Найбільша в світі сонячна електростанція (Ivanpah Solar Electric Generating System, Каліфорнія/США) введена в експлуатацію в 2014 році [11]. Дана установка виробляє електроенергію для 140 000 будинків навіть після заходу сонця. Станція Ivanpah Solar розташована в пустелі Мохаве в трьох годинах на схід від Лос-Анжелеса. Її будівництво велось близько 3-х років та коштувало 2 200 млн доларів. Основні характеристики її – річне виробництво електроенергії складає 1,08 млрд кВт·ч, а електрична потужність сягає 377–392 МВт. Станція виробляє абсолютно чисту енергію, без необхідності спалювання будь якого палива. Сонячна енергія використовується станцією навіть після заходу сонця.

5. Однак, у порівнянні з газовими електростанціями навіть найбільша в світі СЕС Ivanpah, обходиться вчетверо дорожче, а генерує набагато менше електроенергії. За підрахунками експертів, в майбутньому електроенергія, що виробляється цією станцією, буде коштувати вдвічі дорожче, ніж одержувана від звичайних джерел енергії, а витрати, очевидно, будуть перекладені на споживачів. До того ж з 2014 року над станцією щороку гине понад 6 000 птахів.

6. За цим посиланням можна подивитися відео, що наочно пояснює роботу СЕС модульного типу – <https://www.youtube.com/watch?v=ooqiDYalOvA>.

СПИСОК ВИКОРИСТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Городов Р. В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / Р. В. Городов, В. Е. Губин, А. С. Матвеев. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 294 с.
2. Р. Титко Відновлювальні Джерела Енергії (досвід Польщі для України) : навч. посібник / Р. Титко, В. М. Калініченко. – Варшава : OWG, 2010. – 530 с.
3. Твайделл Дж. Возобновляемые источники энергии: Пер с англ. / Дж. Твайделл, А. Уейр. – Москва : Энергоиздат, 1990. – 392 с. : ил.
4. Лабейш В. Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / В. Г. Лабейш. – СПб : СЗТУ, 2003. – 79 с.
5. Лукутин Б. В. Возобновляемые источники электроэнергии : учеб. пособие / Б. В. Лукутин. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
6. <http://solarsoul.net/absorber-solnechnogo-kollektora>
7. <https://energy-kharkov.com/konstruktsiya-ploskogo-solnechnogo-kollektora/>
8. Forkun Ya. B. Analysis of structures and methods of calculation of solar collectors as an alternative source of heat energy [Text] / O.B. Yegorov, Ya. B. Forkun, O. Ju. Yegorova // Lighting engineering and power engineering. 2017. – Vol.3. P. 31–36.
9. Florschuetz L. W. Extension of the Hottel-Whillier model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors // Solar energy. – 1979. – Т. 22. – №. 4. – С. 361–366.
10. <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-1/2-1-1>.
11. <https://solarsystem.com.ua/blog/najbilsha-v-sviti-sonyachna-elektrostantsiya/>.
12. <https://www.youtube.com/watch?v=ooqiDYa1OvA>.
13. Соловей О. І. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії / О. І. Соловей Ю. Г. Лега, В. П. Розен [та ін.] ; за ред. О. І. Солов'я. – Черкаси : Вид. ЧДТУ, 2007. – 642 с.
14. Сибикин Ю. Д. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии : учеб. издание / Ю. Д. Сибикин, М. Ю Сибикин. – Москва : ИП РадиоСофт, 2008. – 338 с. : ил.
15. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник / С. О. Кудря. – Київ : Національний технічний університет України «КПІ», 2012. – 495 с.

ДОДАТОК А

Основні терміни для розділу 2

Дублер – традиційне джерело теплоти для підігріву води, отриманої в установці сонячного гарячого водопостачання.

Теплоприємний контур – контур, в якому відбувається нагрів теплоносія безпосередньо сонячною енергією.

Висота ряду (блоку) сонячних колекторів – різниця відміток верхньої точки цього ряду і нижньої точки наступного ряду сонячних колекторів.

Приведений коефіцієнт тепловтрат сонячного колектора – твір коефіцієнта ефективності колектора на повний коефіцієнт втрат.

Наведена інтенсивність поглиненої сонячної радіації – твір ефективності сонячного колектора на інтенсивність поглиненої радіації.

Коефіцієнт ефективності сонячного колектора – відношення фактично поглиненої корисної енергії до корисної енергії, поглиненої в разі, коли температура поглинає пластини дорівнює температурі рідини.

Сонцепоглиналина поверхня сонячного колектора – площа поверхні сонячного колектора, через яку передається сонячна енергія теплоносія.

Наведена оптична характеристика сонячного колектора – добуток коефіцієнта ефективності колектора на поглинальну здатність пластин колектора і на пропускну здатність прозорого покриття.

Рівноважна температура – максимальна температура пластини колектора при відсутності корисного відведення теплоти.

Навчальне видання

**ФОРКУН Яна Борисівна,
ШКУРПЕЛА Олександр Олександрович**

СОНЯЧНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів усіх форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,
освітньої програми «Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії»)*

Відповідальний за випуск *Я. Б. Форкун*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Я. Б. Форкун*

План 2019, поз. 103Л

Підп. до друку 25.06.2020. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 5,1.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.